

Methodenentwicklung zur Abbildung des Stadteffektes

Produkt 3.1.2 b

Version: 1.0
Status: Entwurf
Datum: 14.01.2011

TP 3.1.2

– Grün- und Freiraumstrukturen, städtebauliche Strukturen, biometeorologische Effekte –

TP-Leiter: Dr. Sebastian Hoechstetter
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)

Bearbeiter: Prof. Dr. Christian Bernhofer
Dr. Valeri Goldberg
Cornelia Kurbjuhn
Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, TU Dresden

Kontakt: Tel.: +49 (351) 463-31340
Fax: +49 (351) 463-31302
E-Mail: christian.bernhofer@tu-dresden.de,
valeri.goldberg@tu-dresden.de,
cornelia.kurbjuhn@mailbox.tu-dresden.de

REGKLAM

Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen: 01 LR 0802

Koordination: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR)
Weberplatz 1, 01217 Dresden
Projektleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Müller

www.regklam.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Datengrundlagen	3
3. Methoden	3
3.1 Modellierungen mit HIRVAC-2D	3
3.1 Modellierungen mit ENVI-met	4
4. Untersuchungsgebiete	7
4.1 Altstadt	9
4.1.1 Variantenrechnungen für die Altstadt	10
4.2 Friedrichstadt	11
4.2.1 Variantenrechnungen für die Friedrichstadt	12
5. Messungen	15
6. Untersuchung zu den DREWAG-Stationen	16
7. Ergebnisse	19
7.1 Modellierungen	19
7.1.1 Ausgewählte Ergebnisse für die Altstadt	19
7.1.2 Ausgewählte Ergebnisse für die Friedrichstadt	20
7.1.3 Zusammenfassende Ergebnisse, Methodenkritik	23
7.2 Messungen	24
7.3 DREWAG-Analyse	25
8. Zusammenfassung und Diskussion	26
Literatur	27
Anhang	28

1. Einleitung

Der Wärmeinseleffekt und die urbane Erwärmung allgemein führen zu einer Beeinflussung der mikro- und bioklimatischen Situation in der Stadt. Eine Stadtstrukturanalyse stellt ein sinnvolles Instrument dar, um sensible Bereiche zu identifizieren und dem Klimawandel mit gezielten Maßnahmen entgegenwirken zu können.

Ziel dieses Teilprojektes ist die Methodenentwicklung zur Quantifizierung der urbanen Überwärmung im Stadtgebiet von Dresden. Betrachtet werden der Istzustand und zukünftige Szenarien, die mögliche städtebauliche Veränderungen darstellen sollen. Der Fokus liegt auf den Lupengebieten Altstadt und Friedrichstadt. Anhand verschiedener Daten soll der Stadteffekt abgebildet werden und thermisch belastete Räume identifiziert werden. Modellierungen und Messungen vor Ort unterstützen diese Aufgabe. Die Modellierungen konzentrieren sich auf ausgewählte Stadtbereiche, sogenannte Lupengebiete.

Die Ergebnisse dieses Produktberichtes beziehen sich auf die Stadt Dresden und nicht auf die komplette bei REGKLAM definierte Modellregion.

2. Datengrundlagen

Im Sommer 2009 wurde eine meteorologische Messkampagne in der Stadt Dresden durchgeführt und ausgewertet. An vier strahlungsreichen Tagen fanden Messungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte statt. Es handelte sich um mobile Messungen, wobei die Messgeräte an Fahrrädern angebracht und mehrere Routen in der Stadt abgefahren wurden. Als Referenz dienten stationäre Messungen im Großen Garten, dem größten Park der Stadt, zur Verifizierung der mobilen Ergebnisse.

Erste Messungen zum Stadtklima fanden bereits im Sommer 2007 in der Dresdner Innenstadt statt, wobei Oberflächen- und Lufttemperatur gemessen wurden.

Im Sommer 2010 erfolgte eine detaillierte Untersuchung der Messstationen der DREWAG (Stadtwerke Dresden). Die Einschätzung der Stationen erfolgt anhand von Vor-Ort-Begehungen, Fotos und Messungen.

Für die Modellierungen der Lupengebiete Altstadt und Friedrichstadt stehen Informationen zur Gebäudehöhe und -grundriss zur Verfügung. Zusätzlich werden Daten zur Lage und Höhe der Bäume vom Stadtgrünamt verwendet, um die Untersuchungsgebiete so realistisch wie möglich im Modell darzustellen. Die Angabe von Vegetation, Gebäuden und Boden ist notwendig zur Modellierung mit dem 3D Mikroklimamodell ENVI-met. Zur Orientierung dienten auch Luftbilder der Stadt Dresden und Vor-Ort-Begehungen (siehe auch Kapitel 2 „Datengrundlagen“ im Produktbericht 3.1.2 a).

Es ist eine Kooperation mit dem Institut für Bauklimatik an der TU Dresden angedacht, das auf dem Klinikgelände eine eigene Messstation aufgebaut hat.

3. Methoden

3.1 Modellierungen mit HIRVAC-2D

Zur Ableitung übertragbarer Zusammenhänge zwischen Mikroklimawirkungen und der Stadtstruktur wurde das Modell HIRVAC (HIgh Resolution Vegetation Atmosphere Coup-

ler) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein atmosphärisches Grenzschichtmodell, das seit mehreren Jahren an der Professur für Meteorologie der TU Dresden entwickelt und angewendet wird. HIRVAC existiert in einer 1-D (u. a. GOLDBERG UND BERNHOFER 2001; GOLDBERG UND BERNHOFER 2008; Baums et al. 2005, FISCHER et al. 2008) und 2-D-Variante (HARMANSA et al., 2010) und verfügt über Mehrschicht-, Vegetations- und Bodenmodule, mit denen aktuelle Probleme der Boden-Vegetations-Atmosphären-Wechselwirkungen untersucht werden können. Die vertikale Auflösung des Vegetationsraumes (bis 30 m) beträgt in der 1D-Variante bis zu 60 Modellschichten (Abb. 1). In der 2D-Variante wird die Vegetationsschicht durch 45 vertikale Schichten aufgelöst, der horizontale Gitterabstand schwankt je nach Anwendungsgebiet zwischen 3 und 100 m. Die Vegetation wird durch Parameter wie Kronenschlussgrad, Blattflächendichte, Blattflächenindex, Formwiderstand sowie Ergebnisse des mechanistischen Photosynthesemodells (PSN6, Universität Bayreuth, FALGE et al. 1996) für unterschiedliche Vegetationstypen parametrisiert. Somit können mit dem Modell HIRVAC mikroklimatische Unterschiede u. a. für Fichten-, Kiefern-, Buchen- und Grasbestände sowie verschiedene Agrarkulturen, aber auch versiegelte Flächen simuliert werden. Damit ist ein großer Teil der Bandbreite städtischer Nutzung in ihren mikroklimatischen Unterschieden mit HIRVAC abbildbar. Mit der 2D-Variante ist es zusätzlich möglich, die Randwirkung der Grünräume auf die Umgebung darzustellen. HIRVAC-2D findet innerhalb des Teilprojektes Anwendung zur Berechnung einer flächenhaften Temperaturverteilung im Stadtgebiet. Diese modellhaften Werte werden mit Hilfe eines statistischen Zusammenhangs zwischen Oberflächen- und Lufttemperatur hergeleitet. Als Eingangsdatensatz stehen die Oberflächentemperaturen von Landsat zur Verfügung (siehe Produkt 3.1.2 a).

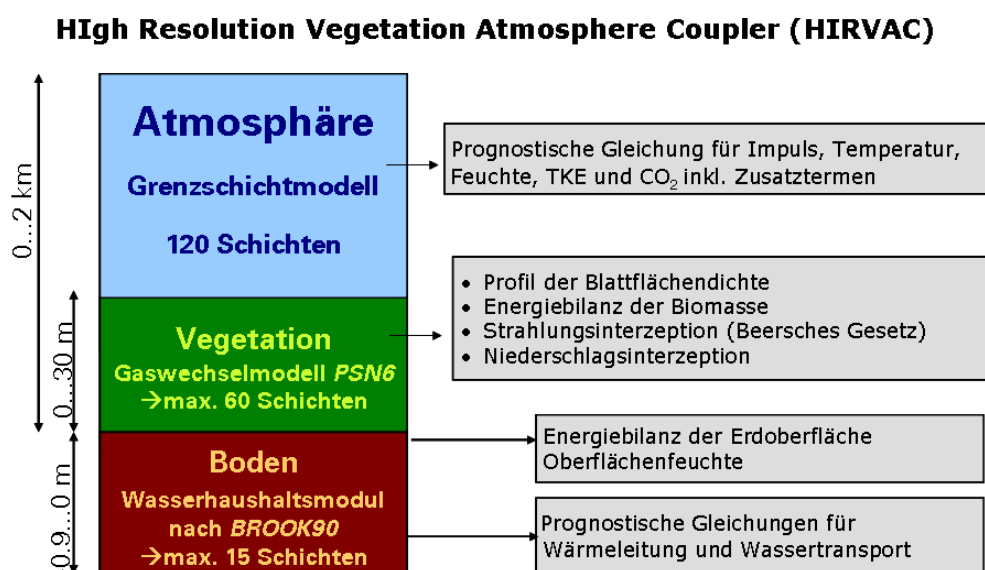


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Hauptmodule und Modellgleichungen im Modell HIRVAC

3.1 Modellierungen mit ENVI-met

Das 3D Mikroklimamodell ENVI-met (BRUSE UND FLEER, 1998) findet Anwendung zur Abbildung des Stadteffektes, um mit Hilfe von Modellsimulationen das Mikro- und Bioklima der Dresdner Innenstadt zu bestimmen. ENVI-met wurde speziell für die Anwendung im urbanen Raum konzipiert und ist in der Lage, die Mikroklimaunterschiede zwischen den

Stadtstrukturen sowie deren Wechselwirkungen räumlich und zeitlich sehr detailliert abzubilden. Dies geschieht allerdings auf Kosten einer erhöhten Rechenzeit. ENVI-met ist ein prognostisches Modell, basierend auf den Grundgesetzen von Strömungs- und Thermodynamik, und ermöglicht die Modellierung von Strömungen um Gebäude, Austauschprozessen von Wärme und Wasserdampf am Boden und an Wänden sowie den Austausch von Vegetation und Bioklimatologie. Es ist eine Modellierung der Wechselwirkungen von Oberflächen, Vegetation und Atmosphäre möglich.

Es wurde ein Modellierungszeitraum von 48 Stunden gewählt. Der erste Simulationstag wird zum Einschwingen benutzt und zur Auswertung werden die zweiten 24 Stunden herangezogen. Es wird ein strahlungsreicher Sommertag betrachtet. Die räumliche Auflösung beträgt 10 m bzw. 7 m, die aufgrund der Gebietsgröße zu sehr hohen Rechenzeiten führt. So benötigte eine 48 h-Simulation auf einem PC für eine urbane Fläche von etwa 1 ha Größe und einer räumlichen Auflösung von 10 m etwa 14 Tage Rechenzeit.

Abb. 2 zeigt beispielhaft wie eine Inputdatei bei ENVI-met mit Hilfe des Editors erstellt werden kann. Es muss jedes Pixel manuell definiert werden, was die Erstellung der Inputdateien als sehr aufwendig gestaltet.

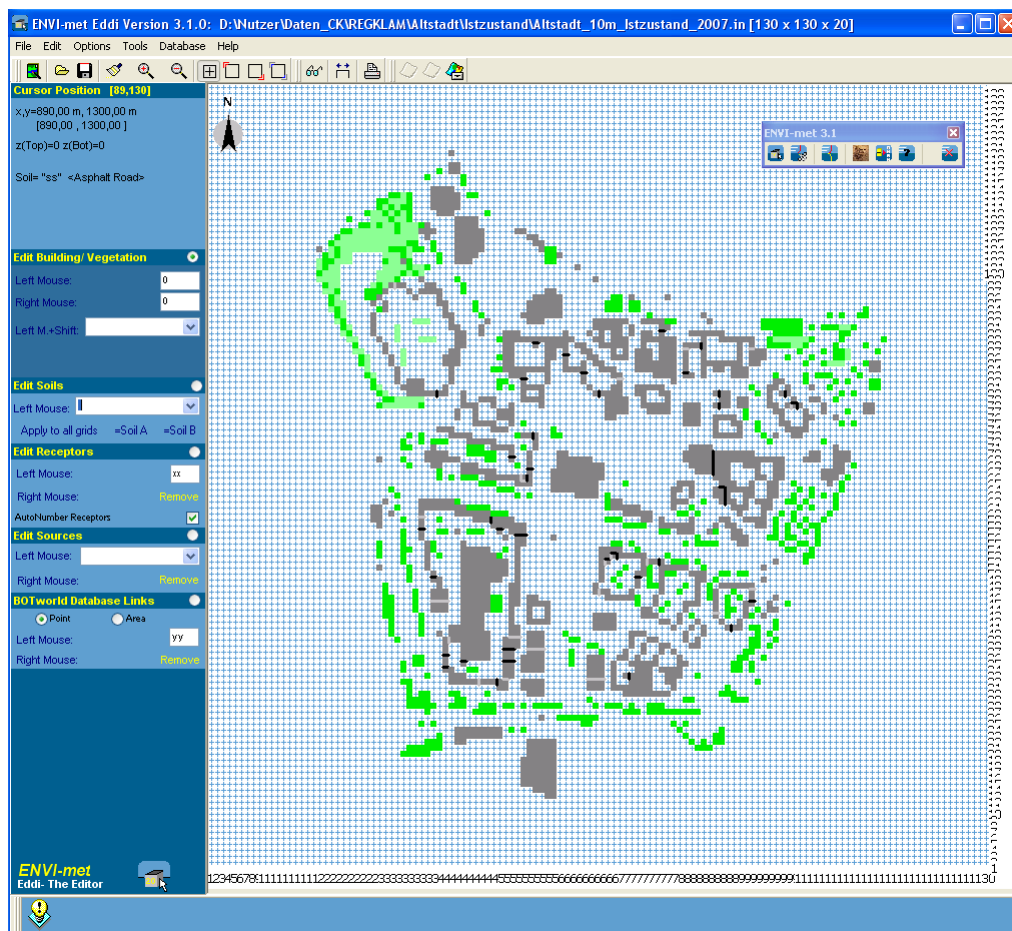
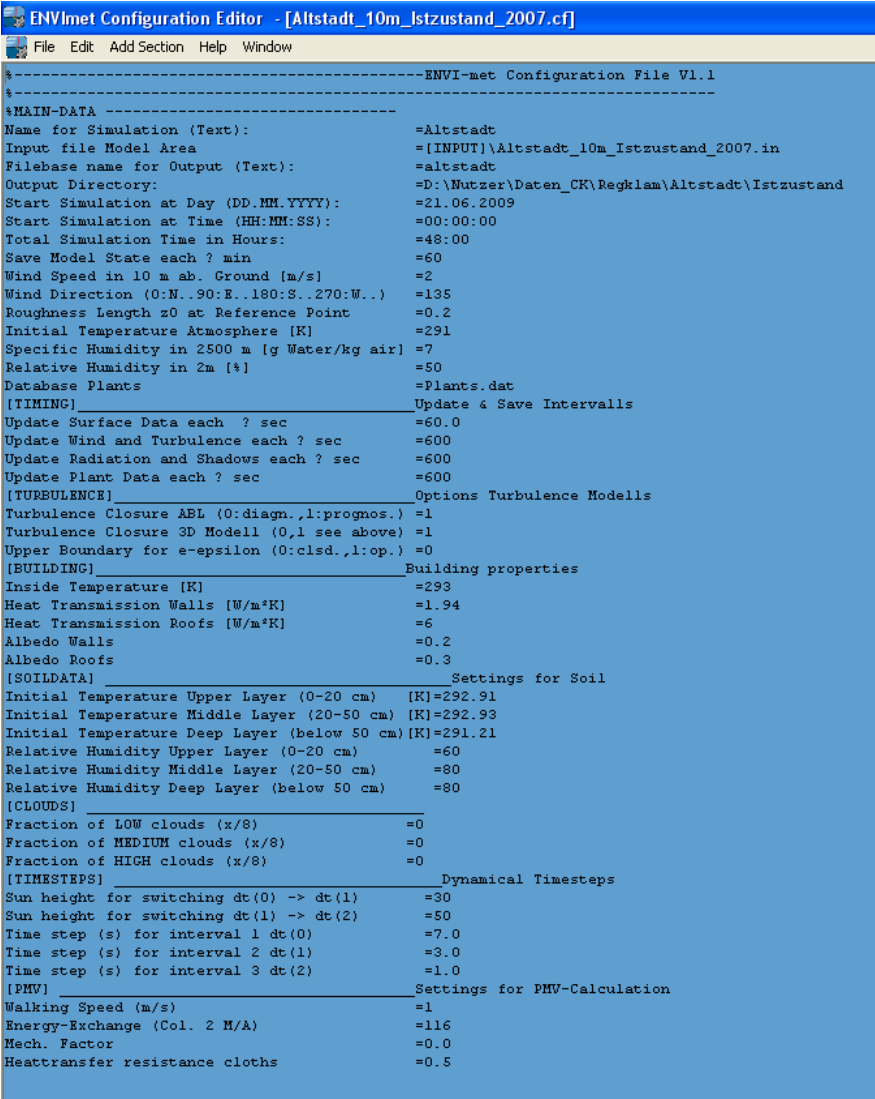


Abbildung 2: Erstellen einer ENVI-met Inputdatei mit dem ENVI-met Editor

Die Modell-Einstellungen werden in der Konfigurationsdatei vorgenommen (Abb. 3). Es können u.a. Parameter wie Windgeschwindigkeit, -richtung, Lufttemperatur und Luft-

feuchte angegeben werden. Es wurde die Version 3.1BETA von ENVI-met im Teilprojekt 3.1.2 b zur Modellierung der Lupengebiete Altstadt und Friedrichstadt herangezogen.



```
ENVI-met Configuration Editor - [Altstadt_10m_Istzustand_2007.cf]
File Edit Add Section Help Window

-----ENVI-met Configuration File V1.1
-----
*MAIN-DATA
Name for Simulation (Text): =Altstadt
Input file Model Area =([INPUT])\Altstadt_10m_Istzustand_2007.in
Filebase name for Output (Text): =altstadt
Output Directory: =D:\Nutzer\Daten_CK\Regklam\Altstadt\Istzustand
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =21.06.2009
Start Simulation at Time (HH:MM:SS): =00:00:00
Total Simulation Time in Hours: =48:00
Save Model State each ? min =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s] =2
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =135
Roughness Length z0 at Reference Point =0.2
Initial Temperature Atmosphere [K] =291
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7
Relative Humidity in 2m [%] =50
Database Plants =Plants.dat
[TIMING]
Update Surface Data each ? sec =60.0
Update Wind and Turbulence each ? sec =600
Update Radiation and Shadows each ? sec =600
Update Plant Data each ? sec =600
[TURBULENCE]
Options Turbulence Models
Turbulence Closure ABL (0:diagm.,1:prognos.) =1
Turbulence Closure 3D Modell (0,1 see above) =1
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.) =0
[BUILDING]
Building properties
Inside Temperature [K] =293
Heat Transmission Walls [W/m²K] =1.94
Heat Transmission Roofs [W/m²K] =6
Albedo Walls =0.2
Albedo Roofs =0.3
[SOILDATA]
Settings for Soil
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]=292.91
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]=292.93
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm) [K]=291.21
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm) =60
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm) =80
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm) =80
[CLOUDS]
Fraction of LOW clouds (x/8) =0
Fraction of MEDIUM clouds (x/8) =0
Fraction of HIGH clouds (x/8) =0
[TIMESTEPS]
Dynamical Timesteps
Sun height for switching dt(0) -> dt(1) =30
Sun height for switching dt(1) -> dt(2) =50
Time step (s) for interval 1 dt(0) =7.0
Time step (s) for interval 2 dt(1) =3.0
Time step (s) for interval 3 dt(2) =1.0
[PMV]
Settings for PMV-Calculation
Walking Speed (m/s) =1
Energy-Exchange (Col. 2 M/A) =116
Mech. Factor =0.0
Heattransfer resistance cloths =0.5
```

Abbildung 3: Beispielhafte Konfigurationsdatei von ENVI-met

Der Einfluss von Grün- und Freiflächen auf das urbane Mikroklima in sommerlichen Hitzeperioden wird untersucht, wobei die thermischen Effekte verschiedener Stadtstrukturen betrachtet werden. Als Modellinput dienen u. a. die Gebäudehöhen, die Vegetationsstruktur sowie die Vegetationshöhe. Zusätzlich kann der Boden definiert werden, u.a. als versiegelt (Asphalt), Lehmboden und Wasserflächen. Es wurde ein strahlungsreicher Sommertag (Mitte Juni) simuliert, um einen Hochsommertag nachzustellen. Die Auswertung der Modellergebnisse konzentriert sich zunächst auf die Verteilung von Lufttemperatur und Predicted Mean Vote (PMV) in 1.2 m Höhe, dem Bereich der stärksten thermischen Wechselwirkung der Stadtbewohner mit der atmosphärischen Umgebung. Es werden flächenhafte Verteilungen mit ENVI-met gezeigt, um die unterschiedliche Temperaturverteilung in der Stadt zu verdeutlichen und Überwärmungsbereiche zu identifizieren. Zusätzlich werden Differenzbilder ausgewertet, um zwischen einzelnen Bebauungsvarianten Unterschiede aufzuzeigen.

Der PMV ist ein weit verbreitet genutzter Index zur Beschreibung des thermischen Empfindens eines Menschen und basiert auf einer empirisch ermittelten Empfindungsskala, die aus der Energiebilanz des Menschen unter normierten Raumbedingungen abgeleitet wird. Diese Bedingungen können auf aktuelle Außenbedingungen in Abhängigkeit von Temperatur, Strahlung, Kleidung und Tätigkeit des Menschen umgerechnet werden. PMV wird in einem Wertebereich von +3,5 (sehr heiß) bis -3,5 (sehr kalt) angegeben (Tab. 1). Werte zwischen -0,5 und +0,5 gelten als behaglich. Hohe positive Werte weisen auf eine Wärmebelastung, niedrige Werte auf eine Kältebelastung hin (VDI, 1998).

Tabelle 1: PMV, thermisches Empfinden und Belastungsstufen (VDI, 1998)

PMV	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
-3,5	sehr kalt	extreme Belastung	Kältestreß
-2,5	kalt	starke Belastung	
-1,5	kühl	mäßige Belastung	
-0,5	leicht kühl	schwache Belastung	
0,5	behaglich	keine Belastung	
1,5	leicht warm	schwache Belastung	Wärmebelastung
2,5	warm	mäßige Belastung	
3,5	heiß	starke Belastung	
	sehr heiß	extreme Belastung	

4. Untersuchungsgebiete

Zur Einschätzung der thermischen Belastung wurden zwei Stadtteile von Dresden ausgewählt, die anhand von Modellsimulationen näher betrachtet werden. Der Fokus liegt auf den zwei Lupengebieten Altstadt (Abb. 4) und Friedrichstadt (Abb. 6). Die Altstadt im Dresdner Zentrum zeichnet sich durch ihre historischen Gebäude und die Lage an der Elbe aus. Das Untersuchungsgebiet ist von Geschäften, Hotels und Museen geprägt. Aufgrund touristischer Nutzung befinden sich viele Menschen in diesem Stadtteil. Der Zwingerpark ist die einzige größere Grünanlage im historischen Stadtkern (Abb. 5). Insgesamt befindet sich hier nur wenig Stadtgrün.

Die Friedrichstadt befindet sich im Dresdner Westen. Es handelt sich um einen Stadtteil mit Brachflächen, die zukünftig in Form von Bebauung oder Begrünung umgestaltet werden könnten. Im Luftbild (Abb. 6) werden die Bahnanlagen der Deutschen Bahn deutlich, die dieses Untersuchungsgebiet im Osten und Süden begrenzen. Im Untersuchungsgebiet liegen viele Gewerbeflächen mit großen Lagerhallen, der Bahnhof Mitte sowie der Bahnhof Friedrichstadt der Deutschen Bahn und der Betriebsbahnhof Friedrichstadt der Dresdner Verkehrsbetriebe. Die zahlreichen Wohnhäuser zeichnen sich durch eine dichte und mehrstöckige Blockbebauung aus. Wichtig zu nennen ist das Krankenhaus Friedrichstadt, als Einrichtung mit vielen Älteren und gesundheitlich schwachen Menschen. Am nördlichen Ende des Gebietes liegt das Ostragehege mit vielen Sportanlagen und -hallen, etwas weiter weg befindet sich die Elbe und nordwestlich der Alberthafen. An der westlichen Grenze des Gebietes sind vorrangig Industrieanlagen.

Aufgrund sehr hoher Rechenzeiten und der aufwändigen Vorarbeit ist es nicht möglich alle in REGKLAM definierten Lupengebiete innerhalb der Bearbeitungszeit des TP 3.1.2 b zu modellieren. Die in diesem Teilprojekt betrachteten Szenarien stellen mögliche Entwick-

lungen der Dresdner Stadtstruktur dar, sind aber frei gewählt und müssen in der Zukunft nicht so umgesetzt werden.



Abbildung 4: Lupengebiet Altstadt (Kerngebiet)



Abbildung 5: Zwinger mit Park in der Altstadt (Quelle: [1])



Abbildung 6: Lupengebiet Friedrichstadt

4.1 Altstadt

Abb. 7 zeigt den Istzustand der Altstadt (Gebäude- und Vegetationsdefinition), wie er bei ENVI-met erstellt wurde. Die hier dargestellte Altstadt von ca. 2 km² Größe wurde in einer 10 x 10 m Auflösung modelliert. Die Flächenanteile für den Istzustand werden in Abb. 8 angegeben. Besonders deutlich wird der hohe Anteil an versiegelten Flächen, es sind kaum zusammenhängende Grünflächen zu erkennen. Einzelbäume stellen vermehrt die Vegetation in diesem Untersuchungsgebiet dar. Der Zwingerteich und die Elbe werden als Wasserflächen beim Bodenmodul definiert. Ansonsten dominieren versiegelte Flächen (Asphalt) den Boden. Vereinzelt wurden Lehmböden definiert (v.a. im Zwingerpark und an den Elbwiesen).



Abbildung 7: Istzustand Altstadt

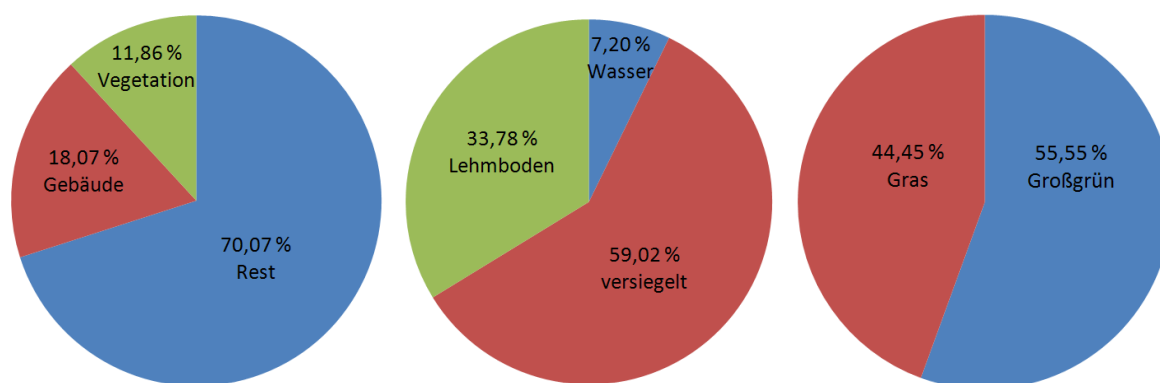


Abbildung 8: Gesamtflächenanteile (links), Flächenanteile der Bodenverteilung (Mitte), Flächenanteile der Vegetationsverteilung (rechts)

4.1.1 Variantenrechnungen für die Altstadt

Für das Lupengebiet der Altstadt wurden Strukturveränderungen für die betrachteten Varianten ausgewählt, die zum Teil in Bebauungsplänen der Stadt zum Zeitpunkt der Bearbeitung vorlagen. Eine Variante stellt die verstärkte Durchgrünung dar (Abb. 9 links). Bei dieser Strukturveränderung wird der Bebauungsplan des Istzustandes belassen und es werden lediglich die Grünflächen verstärkt, vor allem an der Wilsdruffer Straße. Es wird der so genannte Promenadenring angelegt, dabei handelt es sich um einen „grünen“ Ring um die Altstadt vom Postplatz, über die Marienstraße/Wallstraße und den Dr. Külz Ring zur St. Petersburger Straße hin.

Zusätzlich wurde eine verstärkte Verbauung der Altstadt modelliert, bei dieser zweiten Variante wurden v.a. Ferdinandplatz und der Bereich um den Kulturpalast mit Gebäuden versehen (Abb. 9 rechts) und es wurde kein Promenadenring angelegt.

Die Abb. 10 und 11 zeigen die Flächenanteile der zwei zukünftigen Varianten zur Altstadt.

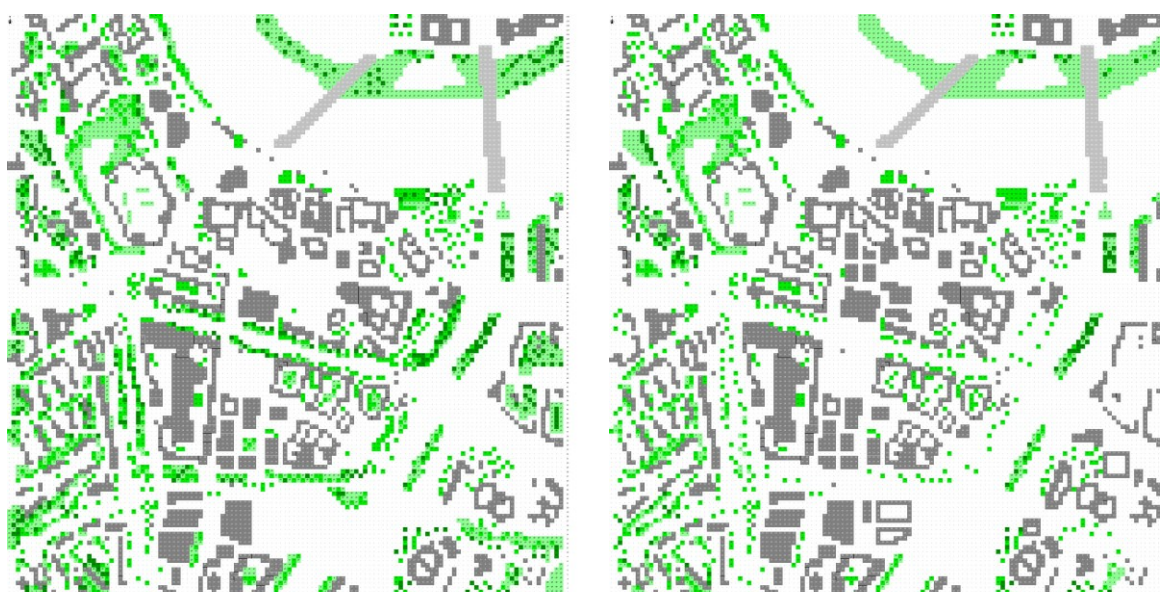


Abbildung 9: verstärkte Durchgrünung (links) und Verbauung (rechts) der Altstadt

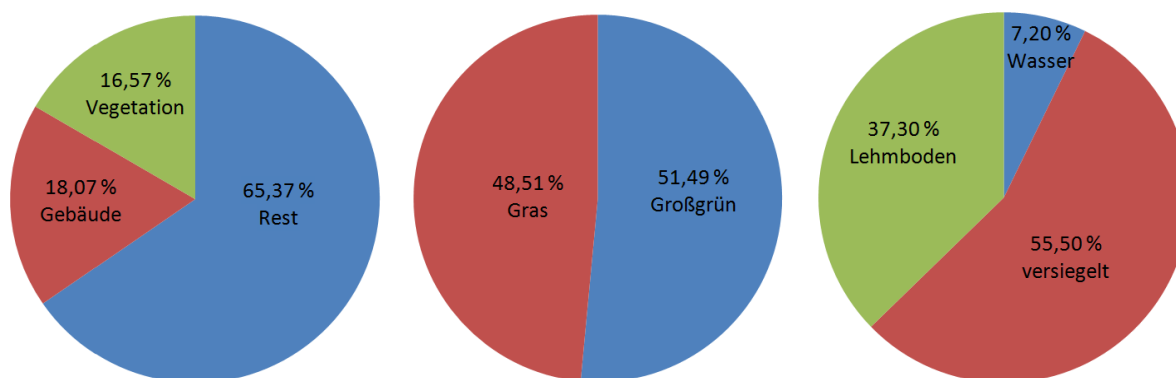


Abbildung 10: Gesamtflächenanteile (links), Flächenanteile der Bodenverteilung (Mitte), Flächenanteile der Vegetationsverteilung (rechts) für die Variante „verstärkte Durchgrünung“ der Altstadt

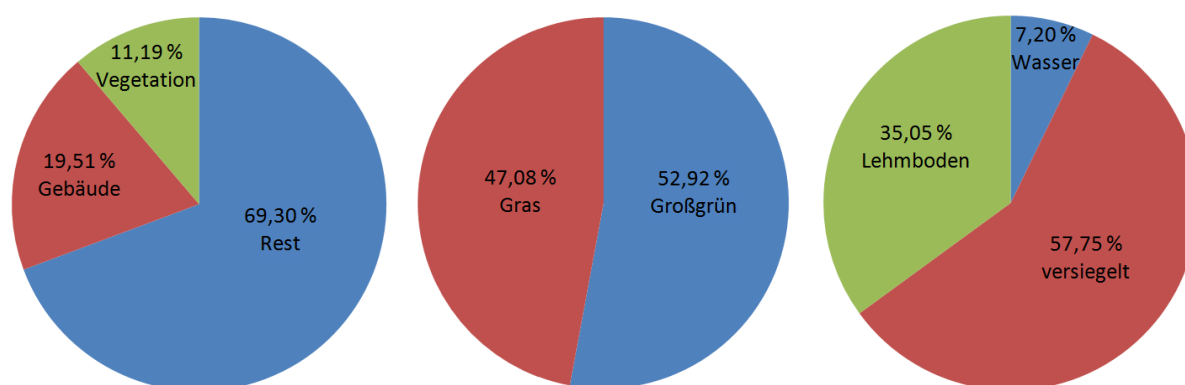


Abbildung 11: Gesamtflächenanteile (links), Flächenanteile der Bodenverteilung (Mitte), Flächenanteile der Vegetationsverteilung (rechts) für die Variante „verbaute“ Altstadt

4.2 Friedrichstadt

Das ca. 1 km² große Lupengebiet Friedrichstadt ist ein Stadtteil im Dresdner Westen mit vielen Grün- und Freiflächen. Der Istzustand der Friedrichstadt als Gebäude- und Vegetationsdatei, wie er in ENVI-met verwendet wurde, ist in Abb. 12 dargestellt. Dieses Lupengebiet wird in einer 7 x 7 m Auflösung modelliert. Die Flächenanteile für den Istzustand werden in Abb. 13 angegeben. Besonders deutlich wird der hohe Anteil an Grünflächen (ca. 30 %) und das Lehm Boden in der Friedrichstadt dominant ist.



Abbildung 12: Istzustand Friedrichstadt

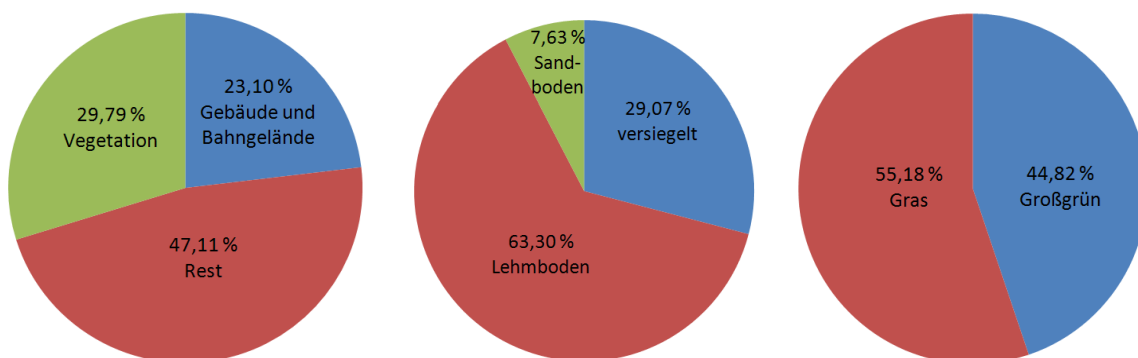


Abbildung 13: Gesamtflächenanteile (links), Flächenanteile der Bodenverteilung (Mitte), Flächenanteile der Vegetationsverteilung (rechts) für den Istzustand der Friedrichstadt

4.2.1 Variantenrechnungen für die Friedrichstadt

Die Friedrichstadt mit vielen Grün-, Frei- und Brachflächen bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Veränderung dieses Stadtteils, deshalb werden mehrere zukünftige Varianten betrachtet, um mögliche Stadtstrukturveränderungen im Modell abzubilden. Es werden der Istzustand und vier mögliche zukünftige Strukturszenarien betrachtet (Abb. 14).

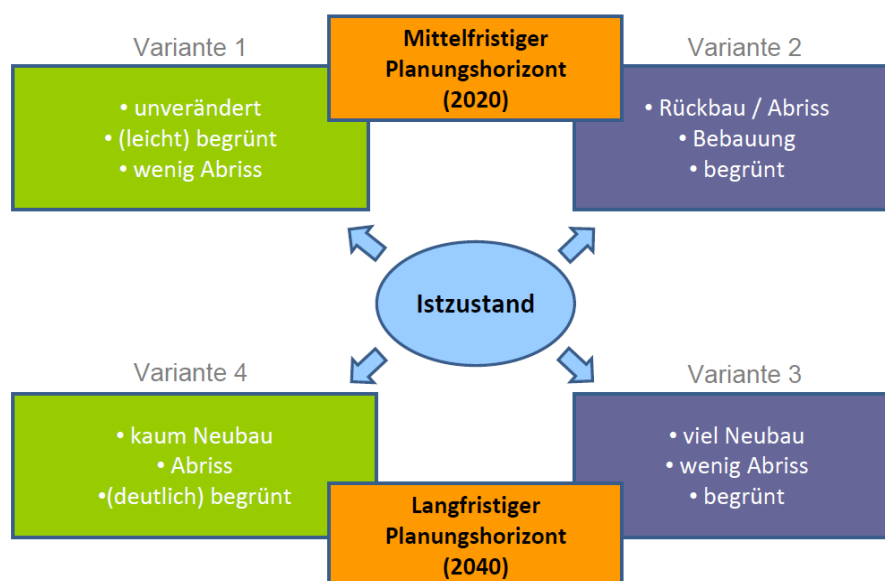


Abbildung 14: Modellierung des Lupengebietes Friedrichstadt, Istzustand und vier zukünftige Varianten

Das Lupengebiet ist in Abb. 15 dargestellt, die Markierungen stellen die Gebiete dar in denen die Stadtstruktur verändert wurde. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Stadtstrukturänderungen in den jeweiligen Gebieten als Überblick zusammengefasst. Die Änderungen richteten sich zum Teil nach Bebauungsplänen des Planungsamtes der Stadt Dresden. Flächenanteile der einzelnen Gebiete sind im Anhang dargestellt (Tabellen A.1 bis A.5).

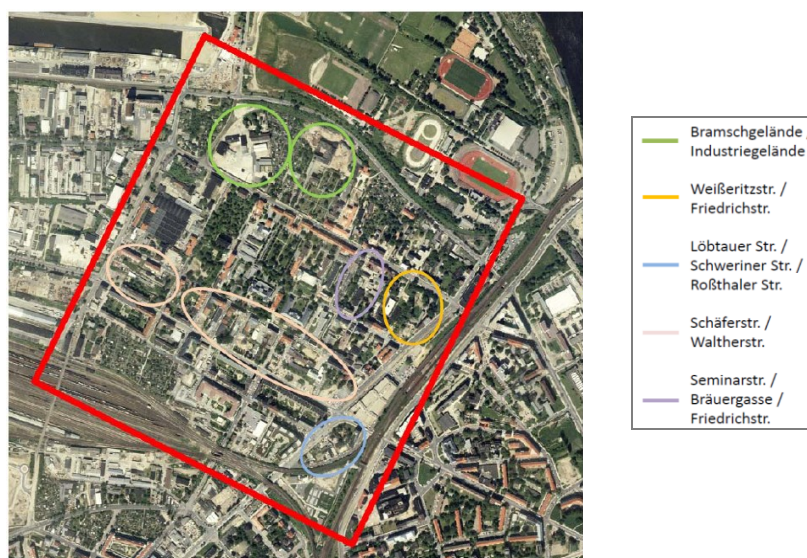


Abbildung 15: Lupengebiet Friedrichstadt mit den Veränderungsbereichen

Tabelle 2: Stadtstrukturänderungen in der Friedrichstadt

	Bramschgelände (BG) und westliches Industriegebiet (IG)	EKZ Weißeritzstr. / Friedrichstr.	Grünzug Schäferstr. (SS) / Ecke Waltherstr. (WS)	Löbtauer Str. / Schweriner Str.	Seminarstr.
2020 – Variante 1	BG: Bäume gepflanzt IG: unverändert	leicht begrünt	SS: leicht begrünt WS: begrünt und innenliegende Häuser weggerissen	Park angelegt	unverändert
2020 – Variante 2	BG: vereinzelt Ein- u. Mehrfamilienhäuser gebaut, etwas begrünt IG: Rückbau, begrünt, Spielplatz anlegt, Einfamilienhäuser gebaut	EKZ fast fertig gebaut (Außenring), etwas begrünt	SS: deutlich begrünt, mehr Bäume (noch klein) WS: Ecke bebaut, innen Häuser weggerissen und begrünt	Park angelegt	innenliegende Häuser weggerissen, wenig neu gebaut
2040 – Variante 3	BG: viele Häuser gebaut, etwas Grün IG: viele Häuser gebaut, deutlich versiegelt	EKZ fertig, Jugendhotel gebaut, etwas Grün	SS: deutlich begrünt, mehr Bäume (groß), Neubauten an den Ecken Menageriestr. / Maritusstr. / Institutsgasse / Behringstr. WS: deutlich verbaut, etwas begrünt	Park angelegt	innenliegende Häuser gebaut
2040 – Variante 4	BG: wenig Häuser dazugekommen, dafür mehr Grün IG: deutlich begrünt, mehr Bäume (groß) Spielplatz angelegt, Rückbau abgeschlossen, keine Einfamilienhäuser	deutlich begrünt, kein EKZ, kein Jugendhotel	SS: deutlich begrünt, mehr Bäume (groß), keine Neubauten an den Ecken Menageriestr. / Maritusstr. / Institutsgasse / Behringstr. WS: deutlich begrünt, innenliegende Häuser weggerissen, nur außen wenige Häuser gebaut	Park angelegt	wenig Neubau, deutlich begrünt



Abbildung 16: Gebäude- und Vegetationsdefinition der Varianten 1 (links) u. 2 (rechts)

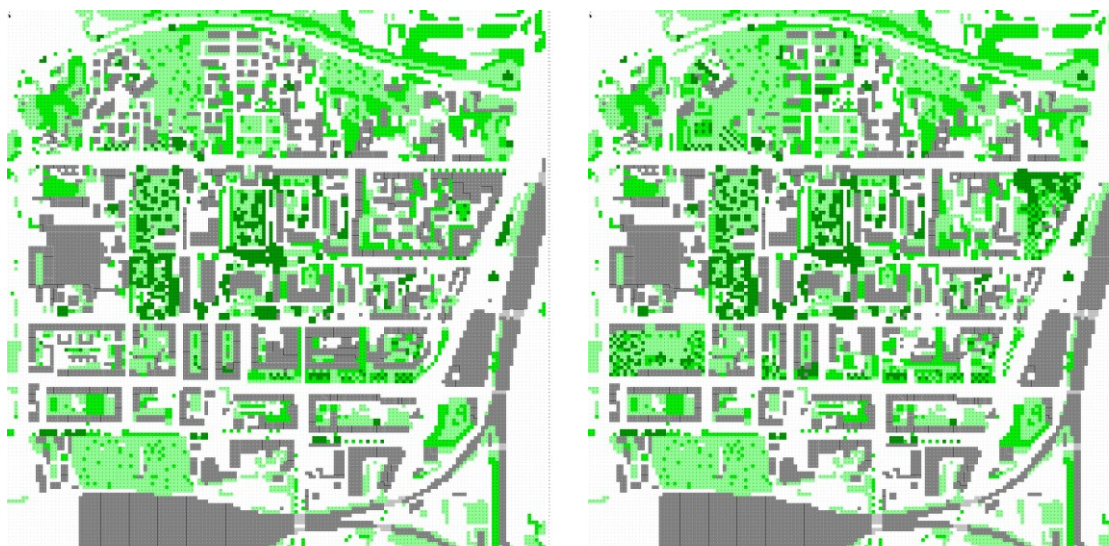



Abbildung 17: Gebäude- und Vegetationsdefinition der Varianten 3 (links) u. 4 (rechts)

5. Messungen

Die Modellergebnisse von ENVI-met wurden anhand von Messfahrtprofilen der Temperatur- und Luftfeuchte evaluiert. Die Messungen fanden an mehreren strahlungsreichen Sommertagen im Stadtgebiet von Dresden im Jahr 2009 statt. In zwei Routen wurden zeitlich hoch aufgelöste Fahrradmessungen durchgeführt und mittels GPS verortet (Abb. 18). Gleichzeitig erfolgten Vergleichsmessungen auf einer Referenzfläche im größten Dresdner Stadtpark Großer Garten sowie in einem kleinen Park am Dresdner Zwinger. Diese Referenzmessungen waren nötig, um die Temperaturunterschiede zum Anfangs- und Endzeitpunkt der Messung, die zur Instationarität der Messungen entlang der Route führen, auszugleichen. Im Großen Garten und im Zwingerpark wurden Temperatur, Feuchte, Strahlung und Wind gemessen. Mit Hilfe der mobilen Messungen sowie der zeitgleichen Referenzmessungen in den Parkanlagen soll der Überwärmungseffekt stark bebauter bzw. versiegelter Flächen gegenüber locker bebauter Flächen und Freiflächen deutlich gemacht werden. Die Referenzmessungen in den Parkanlagen dienten dabei zur Trendkorrektur der Ergebnisse der mobilen Messungen.

Die Abb. 18 zeigt den Verlauf der Fahrradrouten durch das Stadtgebiet von Dresden, sowie die Flächen der Referenzmessungen. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht zu den verwendeten Messgeräten und Datenloggern und in Abb. 19 ist ein Messfahrrad dargestellt.

Tabelle 3: Verwendete Messgeräte und Datenlogger

Messgröße	Messgerät	Einsatz
Temperatur	Assmann-Psychrometer	Referenzmessung
	Thermoelement	Messroute
Feuchte	Assmann-Psychrometer	Referenzmessung
	HMP45 	Messroute

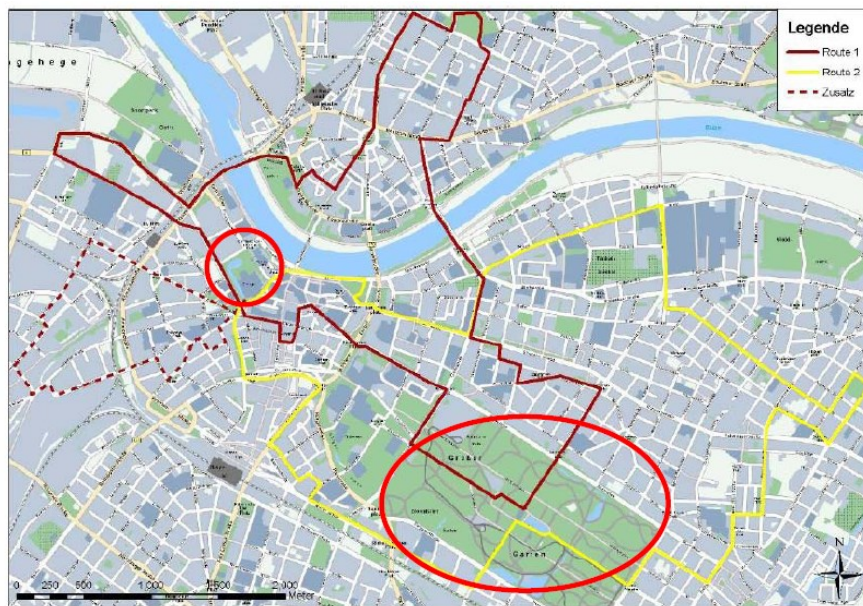


Abbildung 18: Verlauf der Fahrradrouten und Referenzflächen zu den Messungen an 4 Strahlungstagen (16.07., 17.07., 07.08., 20.08.2009)



Abbildung 19: Messfahrrad mit installierten Messfühlern und Datenlogger

6. Untersuchung zu den DREWAG-Stationen

Die DREWAG (Dresdner Stadtwerke GmbH) besitzt Messfühler, vorrangig an Schulen und öffentlichen Einrichtungen angebracht, um den Heizbedarf zu regulieren. Die so gewonnenen Daten könnten einen Beitrag zur Abbildung des Stadtklimas liefern, da innerstädtisch kaum Temperaturdaten vorhanden sind. Deshalb werden die zahlreich vorhandenen DREWAG-Stationen für eine Verwendung überprüft. Im Sommer 2010 erfolgte im Rahmen eines Studentenpraktikums eine Analyse zur Repräsentativität der Temperaturmessstationen, wobei zunächst die Lage und Anbringung der Messgeräte untersucht wurde.

In Abb. 20 befindet sich die Lage der verschiedenen Standorte in der Stadt, nummeriert nach der Vorlage der DREWAG (Tab. 4).

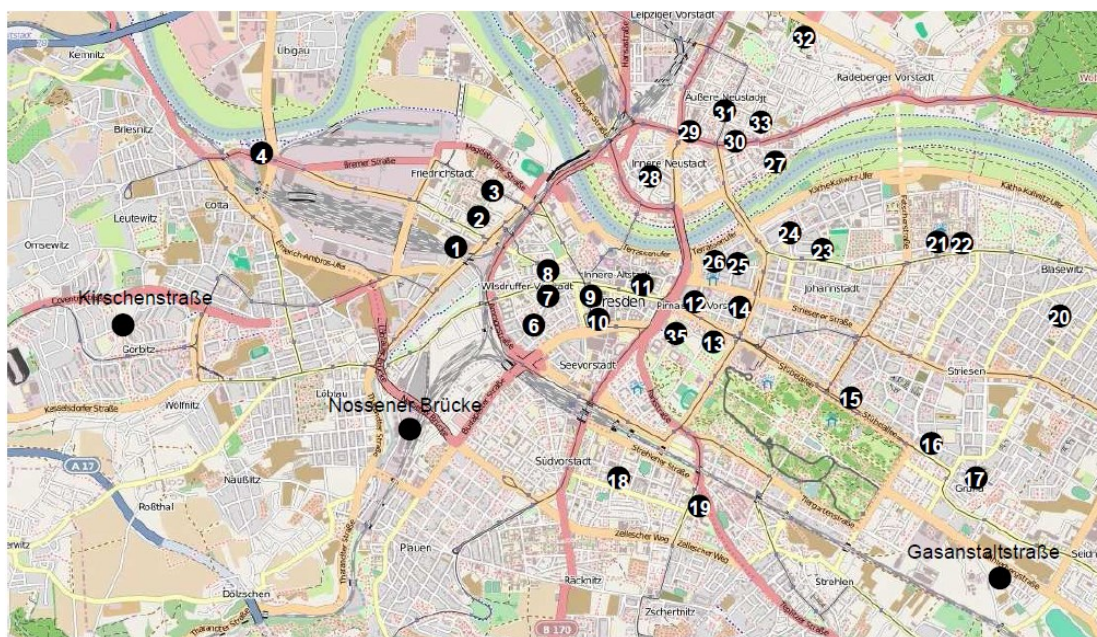


Abbildung 20: Lage der DREWAG-Stationen (PRAKTIKUM, 2010)

Tabelle 4: Auflistung der DREWAG-Stationen (PRAKTIKUM, 2010)

Nr.	Straßenname	Nr.	Straßenname
1	Behringstr. 18	19	Ackermannstraße 1
2	Seminarstr.22	20	Wagnerstr. 24
3	Friedrichstr. 34	21	Fiedlerstraße 42
4	Cossebauder Str. 35	22	Fiedlerstraße 35
6	Güterbahnhofstr.	23	Hopfgartenstraße 2
7	Freiberger Platz	24	Elisenstraße 40
8	Schweriner Str. 22a	25	Ziegelstraße 9
9	Wallstr. 9	26	Steinstraße 4
10	Wallstraße 19	27	Löwenstraße 2
11	Willsdruffer Str. 14	28	An der Dreikönigskirche
12	Grunaer Str. 7a	29	Königsbrücker Str. 2
13	Grunaer Str. 24	30	Bautzner Str. 41
14	Blochmannstraße 24	31	Louisenstraße 42
15	Stübelallee 15d	32	Stauffenbergallee 9d
16	Tetschener Str. 34	33	Louisenstraße 70
17	Postelwitzer Str. 5		Kirschenstraße
18	A.-Schubert-Str. 33		Gasanstaltstraße

Die Verwendbarkeit der DREWAG-Stationen für die räumliche Differenzierung des Stadtklimaeffektes sollte geprüft werden. Dabei standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Wo am Gebäude sind die Messfühler angebracht (Wärmeleitung, fühlbare Wärme)?
- vorhandener Verbauungsgrad (Abschattung, Gegenstrahlung)?
- Unterliegen sie einer direkten Besonnung und einem direktem Wärmeeintrag (offene Fenster, Türen etc.)?

Die Standorteinschätzung geschieht anhand von Fotos und Fischaugenaufnahmen (Abb. 21), um den Sky View Faktor zur Bestimmung von Einschränkungen durch Vegetation und Gebäude abzuleiten. Mit dem Assmann-Psychrometer wurden Lufttemperatur und Luftfeuchte aufgenommen, zusätzlich wurden Strahlungsbilanzmessungen vorgenommen und die Strahlungstemperatur (IR-Thermometer) gemessen.



Abbildung 21: Fischaugenaufnahme an der Postelwitzer Str. 5

Die Referenzstation an der Nossener Brücke (Abb. 22) misst folgende Parameter: Temperaturmessung (außen), Windgeschwindigkeit, Luftdruck, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung, Windrichtung, Regendauer, Regenmenge, Erdoberflächentemperatur und Helligkeit. Die Station Nossener Brücke dient als Vergleichsstation zur Einschätzung der Messfühler.



Abbildung 22: Standort Heizkraftwerk Nossener Brücke (PRAKTIKUM, 2010)

7. Ergebnisse

7.1 Modellierungen

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse der ENVI-met Modellierungen vorgestellt. Mit Hilfe der ENVI-met Ergebnisse sind die Wirkungszusammenhänge zwischen Stadtstrukturen und der Temperatur gut darstellbar. Die Auswertung von Lufttemperatur und PMV konzentriert sich auf Höhe von 1.2 m. Dies ist der Wirkungsbereich, in dem der Mensch am meisten beeinflusst wird.

7.1.1 Ausgewählte Ergebnisse für die Altstadt

Das Flächenmittel des Istzustandes und der zwei Varianten (jeweils ohne Gebäude) sind in Tabelle 5 und 6 dargestellt (um 14 Uhr und 22 Uhr). Die modellierten Varianten zeigen nur geringe Abweichungen gegenüber dem Istzustand bei der Betrachtung der Flächenmittel. Die vorgenommenen Veränderungen sind sehr kleinräumig und kommen bei der Auswertung der Gesamtfläche der Altstadt nicht zur Geltung. Die flächenhaften Abbildungen zeigen den Unterschied zum Istzustand deutlicher (Abb. 23 und 24, siehe auch Anhang).

Tabelle 5: Flächenmittel der Altstadt um 14 Uhr

Flächenmittel (ohne Gebäude)	Temperatur [K]	PMV
Istzustand	300,5	3,03
Variante Durchgrünung	300,12	2,84

Tabelle 6: Flächenmittel der Altstadt um 22 Uhr

Flächenmittel (ohne Gebäude)	Temperatur [K]	PMV
Istzustand	294,67	-0,98
Variante Durchgrünung	294,47	-1,03

Die Abbildungen 23 und 24 zeigen die Differenzenbilder der Temperatur um 14 und 22 Uhr für die Variante Durchgrünung. Die Differenz wurde aus der jeweiligen Variante und dem Istzustand der Altstadt gewonnen. Es ist anzumerken, dass die Gebäude in den zwei Abbildungen nicht extra hervorgehoben werden. In beiden Abbildungen wird der positive Einfluss der Grünräume deutlich, vor allem der Promenadenring kann in den Differenzenabbildungen erkannt werden. Aber auch die deutlich begrünte Wilsdruffer Straße zeigt einen Einfluss auf die Temperaturverteilung in der Altstadt. In der Variante Durchgrünung reduzieren sich die überwärmten Gebiete etwas im Vergleich zum Istzustand. Insgesamt fallen die ermittelten Unterschiede allerdings nur sehr gering aus, da ENVI-met die Temperaturen an einem strahlungsreichen Sommertag unterschätzt.

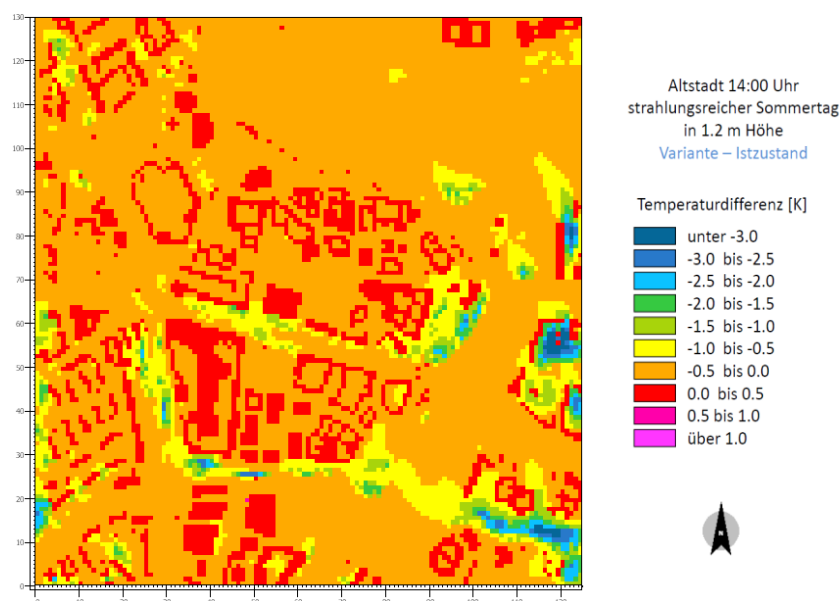


Abbildung 23: Differenzbilder der Temperatur (Variante Durchgrünung – Istzustand) um 14 Uhr

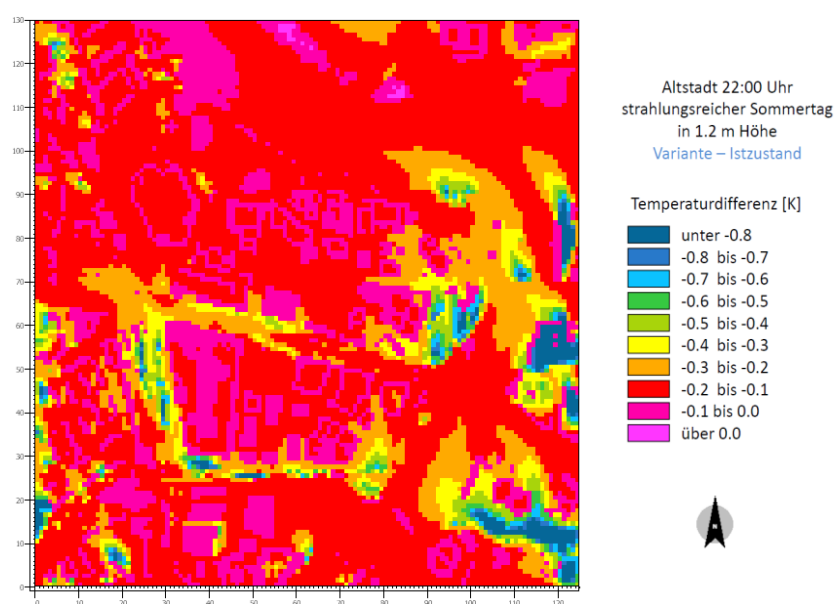


Abbildung 24: Differenzbilder der Temperatur (Variante Durchgrünung – Istzustand) um 22 Uhr

7.1.2 Ausgewählte Ergebnisse für die Friedrichstadt

Das Flächenmittel des Istzustandes und der vier Varianten (jeweils ohne Gebäude) sind in Tabelle 7 und 8 dargestellt (um 14 Uhr und 22 Uhr). Auch zeigen die modellierten Varianten nur geringe Abweichungen gegenüber dem Istzustand bei der Betrachtung der Flächenmittel. Die Veränderungen wurden auch hier sehr kleinräumig vorgenommen und kommen bei der Auswertung der Gesamtfläche der Friedrichstadt nur ungenügend zum Tragen. Die flächenhaften Abbildungen zeigen den Unterschied zum Istzustand deutlicher (Abb. 25 bis 28, siehe auch Anhang).

Tabelle 7: Flächenmittel der Friedrichstadt um 14 Uhr

<i>Flächenmittel (ohne Gebäude)</i>	Temperatur [K]	PMV
Istzustand	299,27	2,49
Variante 1	299,16	2,43
Variante 2	299,18	2,44
Variante 3	299,27	2,46
Variante 4	299,02	2,34

Tabelle 8: Flächenmittel der Friedrichstadt um 22 Uhr

<i>Flächenmittel (ohne Gebäude)</i>	Temperatur [K]	PMV
Istzustand	294,04	-1,13
Variante 1	293,99	-1,14
Variante 2	293,98	-1,15
Variante 3	294,08	-1,12
Variante 4	293,88	-1,18

Abb. 25 und 26 zeigen flächenhafte Differenzbilder der Temperatur der Varianten 3 und 4 im Vergleich zum Istzustand der Friedrichstadt um 14 Uhr und 22 Uhr. Die Bereiche, in denen die Stadtstruktur verändert wurde, zeigen Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Temperatur. Variante 3 (Abb. 25 und 26 a) repräsentiert eine versiegelte und verbaute Friedrichstadt mit weniger Grün- und Freiflächen. Es werden thermisch belastete Räume deutlich, die sich z.B. bei der „grüneren“ Variante 4 (Abb. 25 und 26 b) als etwas kühler darstellen und damit ein angenehmeres Mikro- und Bioklima schaffen. Die größten Unterschiede fallen im Norden des Untersuchungsgebietes auf (Bramschgelände und angrenzendes Industriegebiet), welches in Variante 3 deutlich versiegelt wurde.

Auch bei der Friedrichstadt fallen die ermittelten Unterschiede insgesamt nur sehr gering aus, da ENVI-met die Temperaturen an einem strahlungsreichen Sommertag unterschätzt. Es ist anzumerken, dass in allen flächenhaften Darstellungen (Abb. 25 bis 28) die Gebäude nicht extra hervorgehoben werden. Die Abbildungen der Varianten 1 und 2 befinden sich im Anhang.

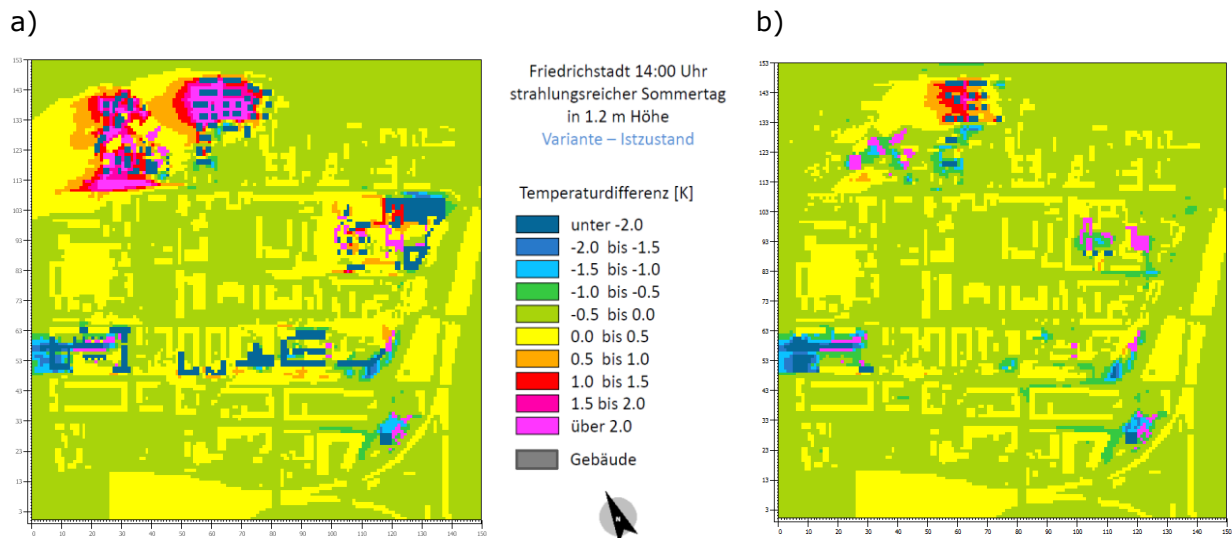


Abbildung 25: Differenzbilder der Temperatur um 14 Uhr a) Variante 3 – Istzustand und b) Variante 4 – Istzustand

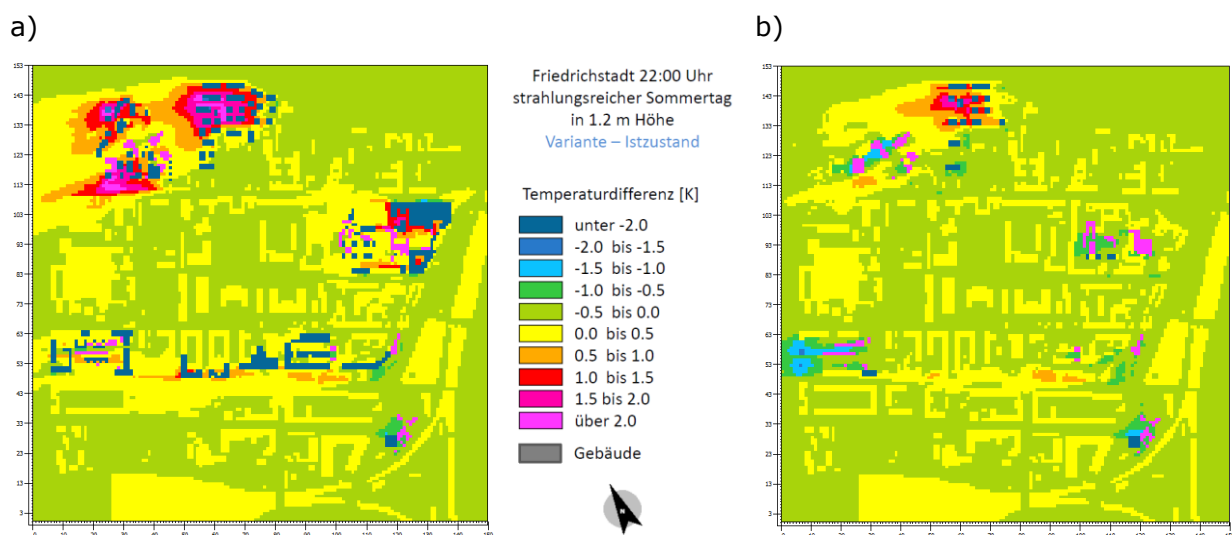


Abbildung 26: Differenzbilder der Temperatur um 22 Uhr a) Variante 3 – Istzustand und b) Variante 4 – Istzustand

Abb. 27 und 28 zeigen die räumliche Verteilung des PMV als Differenzbild zwischen den Varianten 3 bzw. 4 und dem Istzustand der Friedrichstadt. Offene Fläche haben nachts niedrigere PMV-Werte und werden als kühler empfunden als die enger verbauten Gebiete mit verstärkter Wärmestrahlung der umliegenden Gebäude. Es wird eine Abweichung des PMV der Varianten 3 bzw. 4 vom Istzustand deutlich. Die „verbaute“ Variante 3 unterscheidet sich dabei vor allem tagsüber deutlicher von der „grünere“ Variante 4. Nachts treten geringere Unterschiede auf.

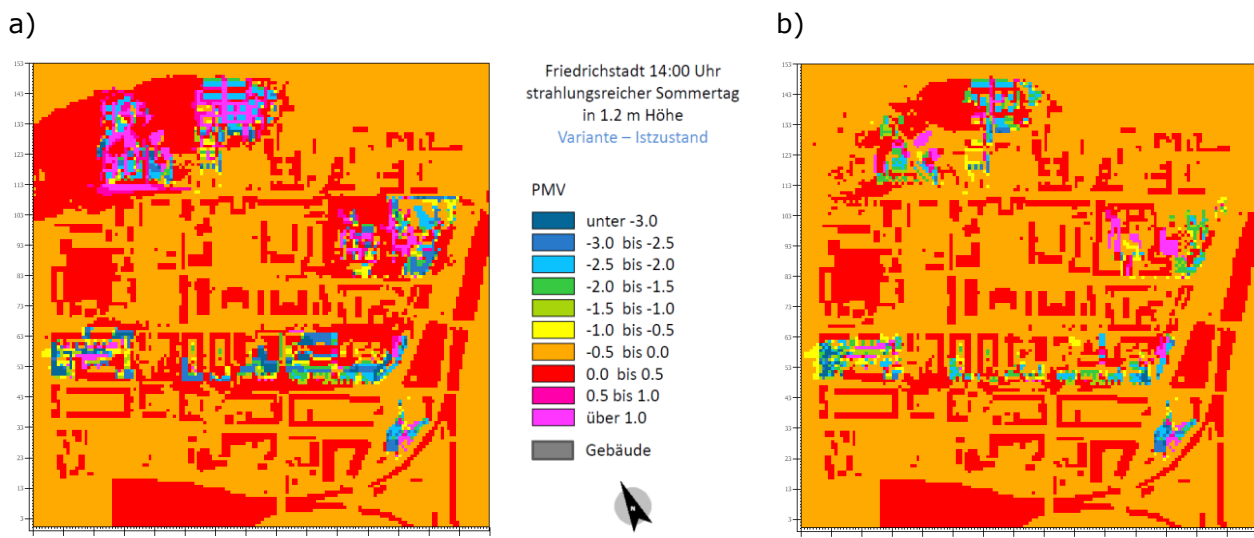


Abbildung 27: Differenzbilder des PMV um 14 Uhr a) Variante 3 – Istzustand und b) Variante 4 – Istzustand

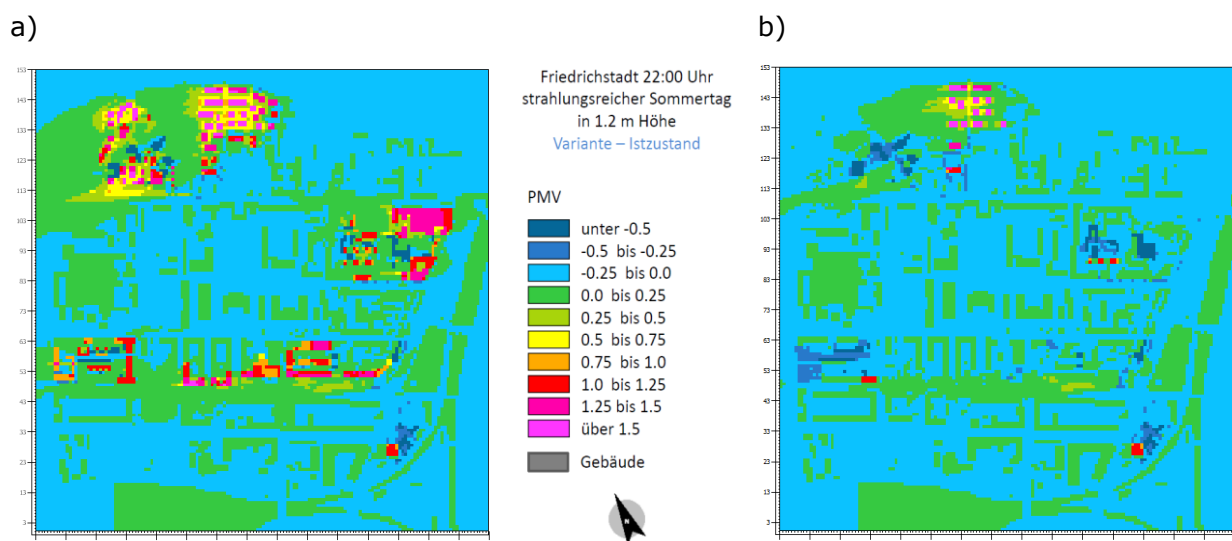


Abbildung 28: Differenzbilder des PMV um 22 Uhr a) Variante 3 – Istzustand und b) Variante 4 – Istzustand

7.1.3 Zusammenfassende Ergebnisse, Methodenkritik

Die räumliche Verteilung hinterlässt einen guten Eindruck und ermöglicht eine Ausweisung von kühleren und wärmeren Flächen, auch wenn keine allzu großen Unterschiede auftreten. Demzufolge können überwärmte Bereiche identifiziert werden. Ebenso lassen sich die positiven Effekte einer Begrünung darstellen, zumindest in den Bereichen in denen auch eine Veränderung vorgenommen wurde. Es zeigen sich Unterschiede zwischen den verbauten und begrünten Varianten zum Istzustand. Temperatur und PMV zeigen in den begrünten Bereichen leicht angenehmere Werte und es wird die positive Wirkung von Schatteneffekten durch Vegetation und Gebäuden in den Modellergebnissen deutlich.

Momentan unterschätzen die modellierten Temperaturen einen realen strahlungsreichen Sommertag. Der Fokus sollte demnach nicht auf der Modellierung von exakten Werten zu

einem bestimmten Zeitpunkt liegen, sondern auf den Veränderungen zwischen den verschiedenen Szenarien.

Das verwendete Modell ENVI-met besitzt nur wenige Einstellmöglichkeiten und es sind kaum Informationen zum internen Ablauf vorhanden und stellt demzufolge eine Black Box dar. Zudem ist die Rechenzeit sehr hoch und es sind nur relativ kleine Flächen modellierbar. Das Modell unterschätzt die real gegebenen Temperaturen an einem hochsommerlichen Strahlungstag. In den dargestellten Abbildungen werden nur geringe Temperaturunterschiede deutlich. Die Temperaturen hängen stark von der Parametrisierung der Oberflächeneigenschaften ab. Man sollte nicht unbedingt die modellierten Absolutwerte für eine Auswertung heranziehen, sondern auf die Unterschiede in der räumlichen Verteilung achten und die Modellergebnisse als Anschauung nutzen. Mit ENVI-met sind die Wirkungen gut darstellbar und man bekommt relativ einfache Ergebnisse.

Bei den vorgestellten Varianten handelt es sich um Ideen, die sich z.T. an vorliegende Pläne anlehnen. D.h. die Strukturänderungen könnten in der Zukunft umgesetzt werden, müssen es aber nicht. Zumal die vorliegenden Bebauungspläne aufgrund der Modellstruktur von ENVI-met nicht hundertprozentig im Modell umgesetzt werden konnten.

7.2 Messungen

Nachfolgend wird eine Auswahl an Ergebnissen der Messkampagne 2009 vorgestellt.

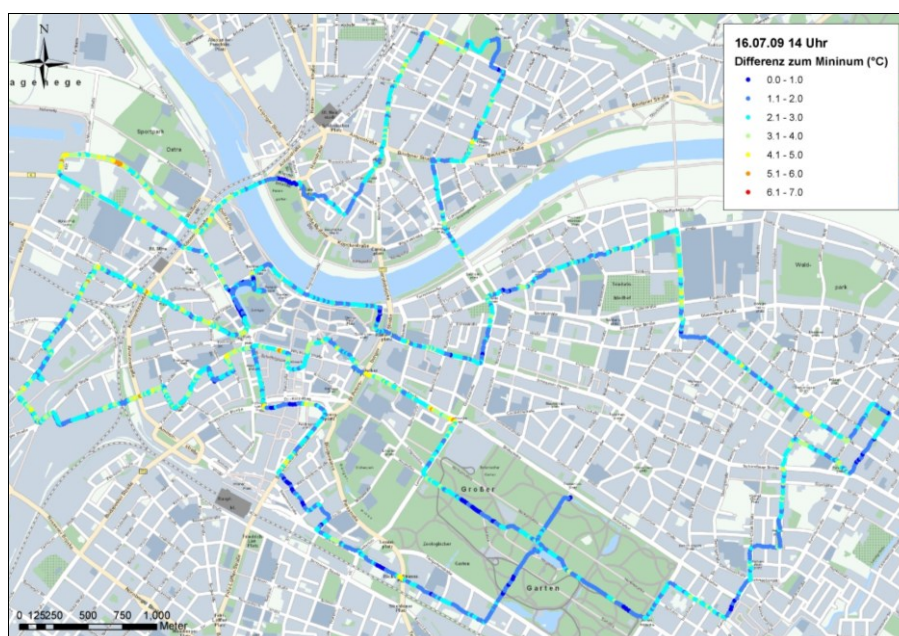


Abbildung 29: Temperaturdifferenz zwischen Referenzfläche (Zentrum Großer Garten) und Messpunkten entlang der Fahrradrouten während der Messfahrt am 16.07.09, gegen 14:00 MEZ.

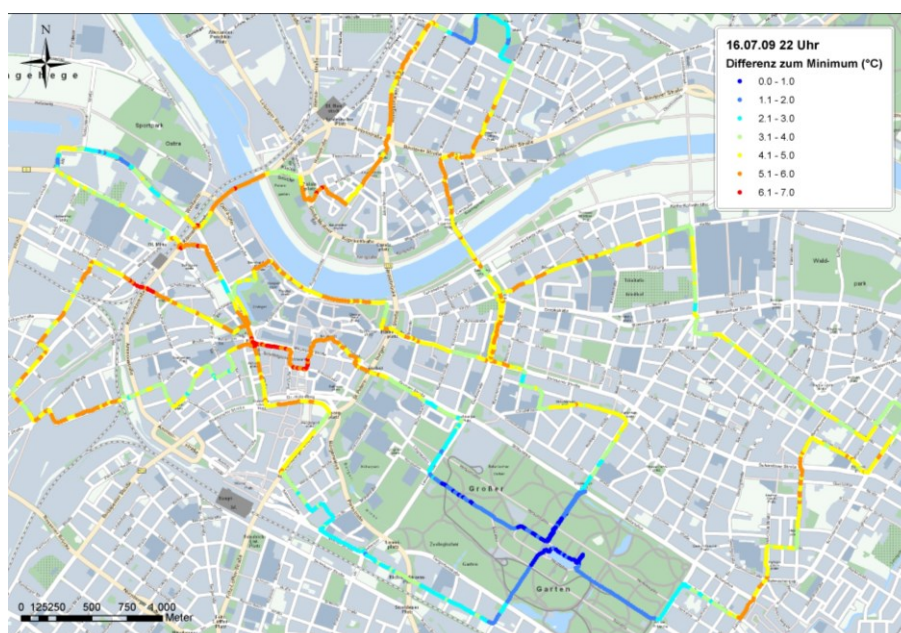


Abbildung 30: Temperaturdifferenz zwischen Referenzfläche (Zentrum Großer Garten) und Messpunkten entlang der Fahrradrouten während der Messfahrt am 16.07.09, gegen 22:00 MEZ.

Die Messergebnisse am Beispiel der Stadt Dresden verdeutlichen die große Wirkung der urbanen Grün- und Freiräume auf das Mikroklima, gemessen am Abkühlungseffekt. Unter den Bedingungen hoher Einstrahlung am Tage (Abb. 29) dominieren Abschattungseffekte und der Effekt guter Durchlüftung. So wurden Temperaturdifferenzen von ca. 4 K zwischen versiegelten, offenen Plätzen und beschatteten Arealen gemessen. Dabei kann die Abschattungswirkung auf das Mikroklima von Baumgruppen und von Hauszeilen ähnlich sein – vorausgesetzt, in den abgeschatteten Straßenzügen herrscht ausreichend Durchlüftung. Allerdings darf die Momentaufnahme in Abb. 39 nicht als repräsentativ für den Gesamttag angesehen werden, da mit wandernder Einfallsrichtung der Sonnenstrahlung die Schattenwirkung in Straßenzügen stark variiert. Demgegenüber bleibt die Abschattungswirkung zusammenhängender Baumgruppen ganztätig hoch, so dass – über den Gesamttag betrachtet – die positive Mikroklimawirkung der durchlüfteten Grünräume gegenüber beschatteten Siedlungsflächen deutlicher hervortritt.

Nach Sonnenuntergang dominiert die Wirkung offener Freiflächen mit hoher Abstrahlung (und damit Auskühlung) gegenüber dichter verbauten und versiegelten Siedlungsflächen mit hohem Wärmespeicher und hoher zurückgeführter Wärmestrahlung. Hier treten Unterschiede zwischen Stadtpark und Innenstadt von über 6 K auf (Abb. 30). Diese Ergebnisse bestätigen Literaturangaben, die besagen, dass die größten Temperaturunterschiede und damit der größte Wärmeinseleffekt in der Stadt in den frühen Nachtstunden auftreten. Allerdings hängt die Wirkung auf den Menschen am Tage auch von der direkten Einstrahlung ab, so dass die Unterschiede in der bioklimatischen Wirkung zwischen Grün- und Freiräumen und den Siedlungsflächen am Tage meist höher sind.

7.3 DREWAG-Analyse

Die Charakterisierung der Standorte im Rahmen eines studentischen Vertiefungspraktikums ergab, dass vor allem die Stationen Seminarstr. 22 und Hopfgartenstr. 2 als geeig-

net eingestuft werden können (PRAKTIKUM, 2010). Es erfolgte keine Bewertung der Temperaturtagesgänge, es ist aber anzunehmen dass an bedeckten Tagen mehr Stationen gute Ergebnisse liefern. Folgende Faktoren spielten bei der Entscheidung eine Rolle: Anbringungshöhe, Exposition, Temperaturdifferenz der betrachteten DREWAG-Station zur Nossener Brücke, Vergleich der betrachteten DREWAG-Station zur eigenen Messung.

Die Repräsentativitätsanalyse ergab, dass die Mehrheit der Messfühler als eher ungeeignet eingestuft werden müssen aufgrund von Lage und Anbringung der Geräte. Es gestaltet sich daher schwierig die DREWAG-Messdaten als zusätzliche Datenquelle zur Abbildung des Stadtklimaeffektes heranzuziehen. Eine Anwendung dieser Daten ist prinzipiell möglich, aber erst nach einer intensiven Analyse zu empfehlen.

8. Zusammenfassung und Diskussion

Ziel dieses Teilprojektes war die Ausweisung sensibler Siedlungsräume im Hinblick auf thermische Belastungen mit dem Schwerpunkt Hitzewellen auch unter Betrachtung bioklimatischer Kennziffern.

Bei einer mobilen Messkampagne im Sommer 2009 wurde die Abkühlungswirkung von Grünflächen im Dresdner Stadtgebiet deutlich. Es erfolgte eine Modellierung für die Dresdner Stadtteile Friedrichstadt und Altstadt zur Identifizierung der urbanen Überwärmung und der mikroklimatischen Ausgleichsfunktionen von Grün- und Freiflächen. Eine räumliche Bestimmung ist notwendig, um Belastungsschwerpunkte, v.a. bei Hitze, auszuweisen und Anpassungsstrategien für gefährdete Stadtbereiche zu entwickeln. Ziel ist die Abbildung des Stadteffektes im Klimawandel zum Istzustand und für zukünftige Strukturszenarien. Die dargestellten Varianten zur Altstadt und Friedrichstadt stellen Möglichkeiten dar, die in der Zukunft aber nicht so umgesetzt werden müssen. Es handelt sich um Planspiele.

Ein positiver, wenn auch geringer, Effekt der Grünanlagen wird bei der Betrachtung der räumlichen Verteilung der Lufttemperatur und des PMV deutlich. Die Modellergebnisse von ENVI-met und die Messergebnisse aus dem Jahr 2009 erlauben eine Identifizierung thermisch belasteter Bereiche. Es können Temperaturunterschiede von bis zu 4 K zwischen Freiflächen und eng verbauten Straßenzügen auftreten.

Zukünftig sollen weitere Datenauswertungen zur Ableitung eines statistischen Zusammenhangs zwischen Überwärmungseffekt und Stadtstrukturparametern erfolgen. Es soll die Abbildung des Stadteffektes mit Hilfe von Messdaten und Modellsimulationen erreicht werden. Eine Anwendung weiterer Modelle könnte sinnvoll sein. Zudem könnten mit zusätzlichen Messungen und einer intensiven Auswertung der DREWAG-Stationen überwärmte Bereiche noch besser belegt werden. Derzeit wird eine Modellvalidierung anhand der Fahrradmessungen geprüft, die aber aufgrund der hohen Rechenzeiten von ENVI-met noch nicht beendet ist.

Literatur

- BAUMS, A.-B., GOLDBERG, V., BERNHOFER, C. (2005): Upgrading the Coupled Vegetation Boundary Layer Model HIRVAC by New Soil Water and Interception Modules. *Met. Z.* 14 (2), 211-218.
- BRUSE, M.; FLEER, H. (1998): Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software* (13) 373-384.
- FALGE E., GRABER W., SIEGWOLF R., TENHUNEN, J.D. (1996): A model of the gas exchange response of *Picea abies* to habitat conditions. *Trees* 10, 277-287
- FISCHER, B.; GOLDBERG, V.; BERNHOFER, C. (2008): Effect of a coupled soil water - plant gas exchange on forest energy fluxes: Simulations with the coupled vegetation - boundary layer model HIRVAC. - *Ecological Modelling* (214): 75-82.
- GOLDBERG, V.; BERNHOFER, C. (2001): Quantifying the coupling degree between land surface and the atmospheric boundary layer with the coupled vegetation-atmosphere model HIRVAC. - *Annales Geophysicae* (19): 581-587.
- GOLDBERG, V.; BERNHOFER, C. (2008): Testing different Ω measures with measurements and models of contrasting canopies under water stress. - *Annales Geophysicae* (26): 1977-1992.
- HARMANSA, S.; GOLDBERG, V.; QUECK, R.; VOWINCKEL, B.; BERNHOFER, C. (2010) Wind flow simulations with common eddy diffusion models over a forest edge using a high resolution vegetation model – Comparison of different closure schemes. *Boundary Layer Meteorology*, submitted, with Nr. BOUN-S-10-00240.
- PRAKTIKUM (2010): Stadtklima von Dresden. Unveröffentlichter Beleg zur Repräsentativitätsanalyse der DREWAG-Stationen von Blache, M.; Marburg, S.; Schwarz, F.; Wenk, R. und Weser, S. der Vertiefungsveranstaltung Meteorologie, TU Dresden.
- VDI (1998): Human-biometeorologische Bewertung von Klima und Luft für die Stadt- und Regionalplanung. Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2, 29 S.

Internetquellen:

- [1] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Luftbild_Dresden_-_Dresdner_Zwinger_hinten_Semperoper_Kathedrale_Hofkirche_Augustusbr%C3%BCcke_Elbe_Foto_2008_Wolfgang_Pehlemann_Wiesbaden_HSBD4386.jpg
(14.05.2010)

Anhang

Tabelle A.1: Flächenanteile Bramschgelände und Industriegebiet

Flächenanteile Bramschgelände		Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gesamtfläche:	Gebäude	11,2	11,2	11,1	20,0	11,9
	Vegetation	35,3	36,0	50,1	40,2	54,5
	Rest	53,5	52,8	38,8	39,8	33,6
Vegetation:	Großgrün	37,4	39,0	36,8	29,9	36,9
	Gras	62,6	61,0	63,2	66,9	63,1
Boden:	Lehmboden	50,7	51,1	63,0	56,3	68,1
	versiegelt	19,5	19,2	20,2	37,6	18,5
	Sandboden	29,7	29,7	16,8	6,1	13,4

Tabelle A.2: Flächenanteile EKZ Weißeritzstr. und Friedrichstr.

Flächenanteile EKZ Weißeritzstr./Friedrichstr.		Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gesamtfläche:	Gebäude	20,7	20,7	25,4	37,5	17,4
	Vegetation	35,0	38,5	18,5	22,5	42,1
	Rest	44,3	40,8	56,0	40,0	40,5
Vegetation:	Großgrün	62,8	62,6	63,2	59,5	61,4
	Gras	37,2	37,4	36,8	40,5	38,6
Boden:	Lehmboden	67,0	72,0	71,3	74,7	75,7
	versiegelt	23,1	22,1	24,1	23,5	22,6
	Sandboden	10,0	5,9	4,5	1,8	1,7

Tabelle A.3: Flächenanteile Schäferstr. /Waltherstr.

Flächenanteile Schäferstr./Waltherstr.		Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gesamtfläche:	Gebäude	22,7	21,6	22,4	37,4	20,9
	Vegetation	26,5	37,2	33,0	28,4	43,3
	Rest	50,8	41,2	44,6	34,2	35,8
Vegetation:	Großgrün	35,3	39,0	37,5	42,6	48,6
	Gras	64,7	61,0	62,5	57,4	51,4
Boden:	Lehmboden	55,9	67,2	71,1	74,4	71,2
	versiegelt	35,8	31,5	28,4	25,5	28,2
	Sandboden	8,3	1,3	0,5	0,1	0,6

Tabelle A.4: Flächenanteile Löbtauer Str. /Schweriner Str. (in allen Varianten gleich angelegt)

Flächenanteile Park Löbtauer Str.		Istzustand	Variante 1-4
Gesamtfläche:	Gebäude	13,9	11,1
	Vegetation	14,2	44,6
	Rest	72,0	44,3
Vegetation:	Großgrün	51,1	46,6
	Gras	48,9	53,4
Boden:	Lehmboden	50,3	64,2
	versiegelt	44,9	34,0
	Sandboden	4,8	1,8

Tabelle A.5: Flächenanteile Seminarstr.

Flächenanteile Seminarstr.		Istzustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Gesamtfläche:	Gebäude	38,0	35,3	33,7	42,8	31,7
	Vegetation	30,4	30,4	22,0	27,2	34,0
	Rest	31,6	34,3	44,4	30,0	34,3
Vegetation:	Großgrün	61,6	61,6	65,0	52,4	50,5
	Gras	38,4	38,4	35,0	47,7	49,5
Boden:	Lehmboden	80,3	80,9	76,8	82,7	88,0
	versiegelt	10,6	9,9	16,2	15,1	11,2
	Sandboden	9,1	9,1	7,1	2,2	0,8

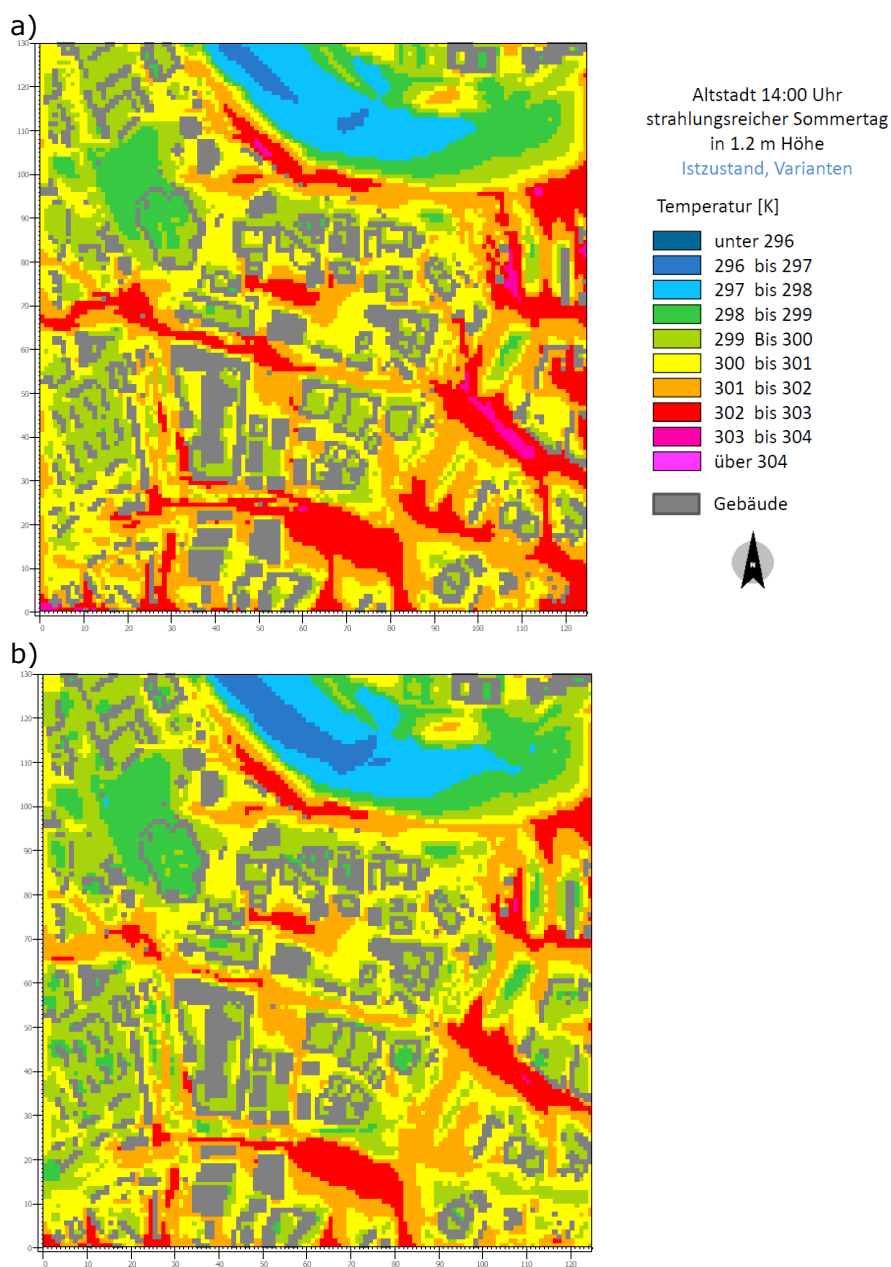


Abbildung A.1: Temperaturverteilung in der Altstadt a) Istzustand und b) Variante Durchgrünung um 14 Uhr

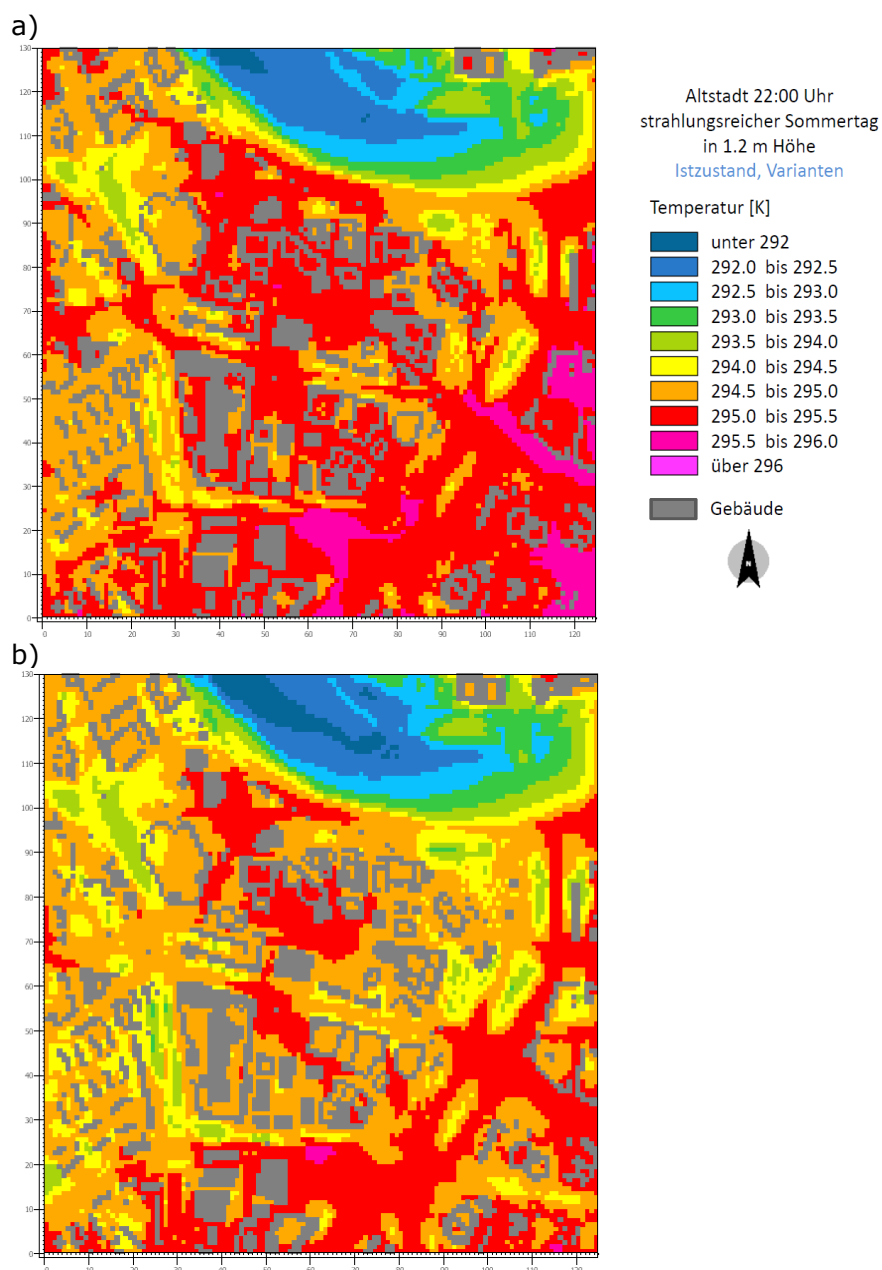
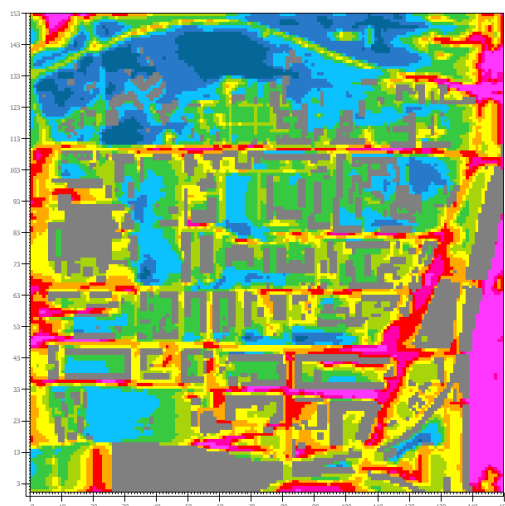


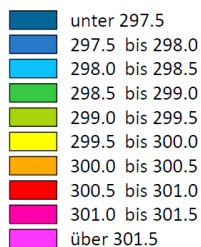
Abbildung A.2: Temperaturverteilung in der Altstadt a) Istzustand und b) Variante Durchgrünung um 22 Uhr

a)



Friedrichstadt 14:00 Uhr
strahlungsreicher Sommertag
in 1.2 m Höhe
Istzustand, Variante 1 bis 4

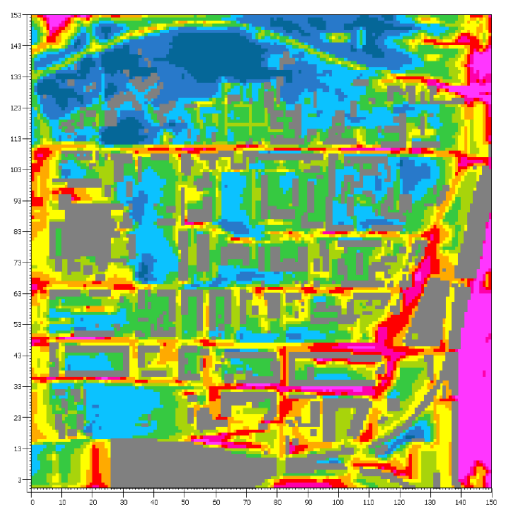
Temperatur [K]



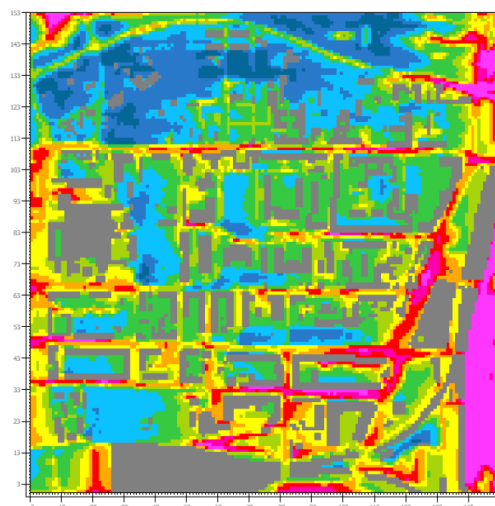
Gebäude



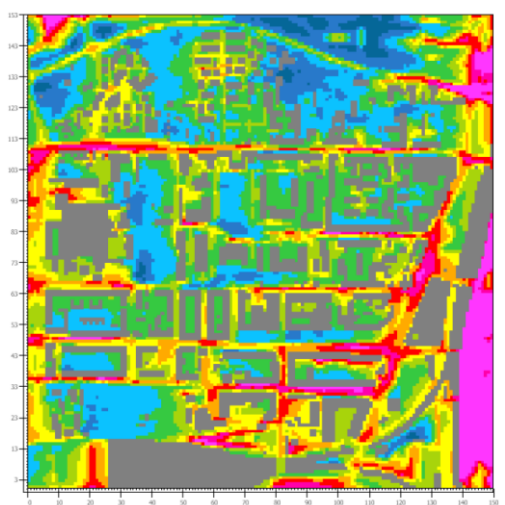
b)



c)



d)



e)

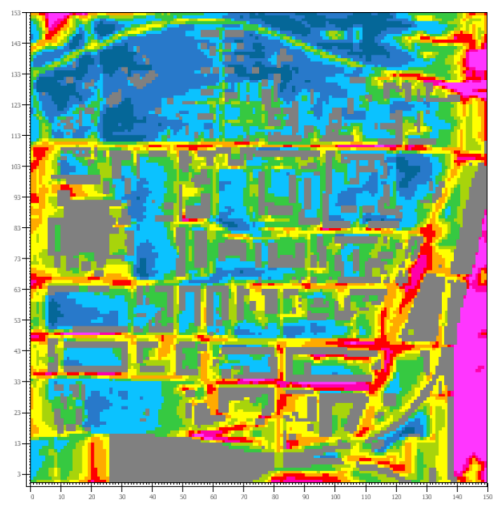
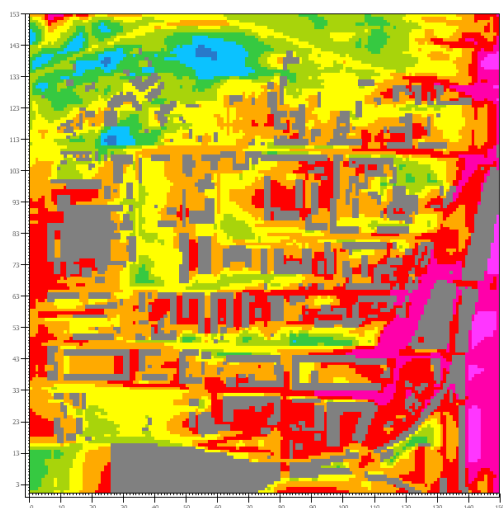


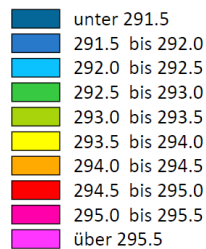
Abbildung A.3: Temperaturverteilung in der Friedrichstadt a) Istzustand, b) Variante 1, c) Variante 2, d) Variante 3 u. e) Variante 4 um 14 Uhr

a)



Friedrichstadt 22:00 Uhr
strahlungsreicher Sommertag
in 1.2 m Höhe
Istzustand, Variante 1 bis 4

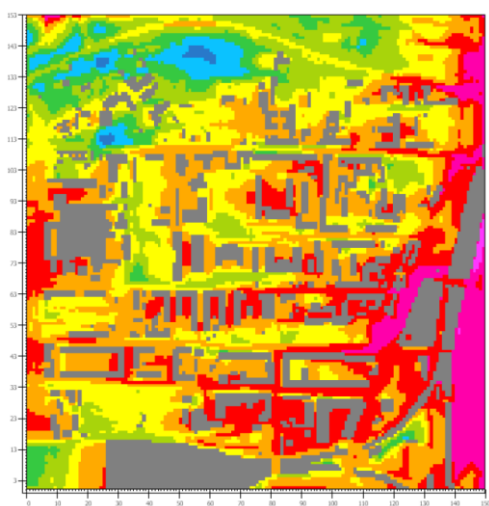
Temperatur [K]



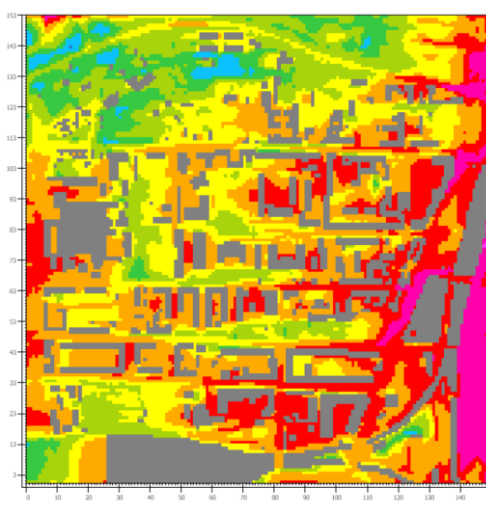
Gebäude



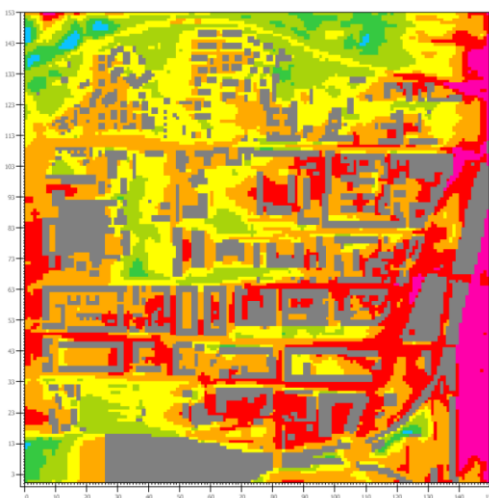
b)



c)



d)



e)

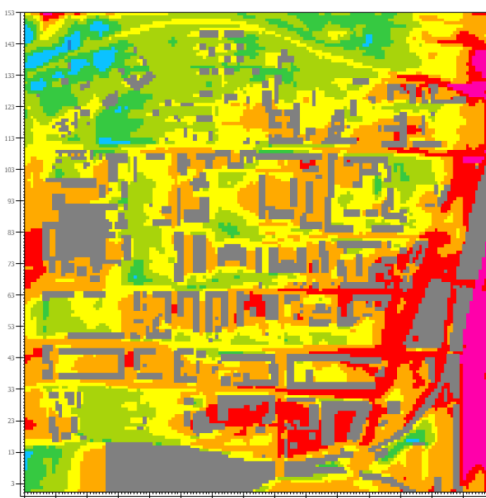


Abbildung A.4: Temperaturverteilung in der Friedrichstadt a) Istzustand, b) Variante 1, c) Variante 2, d) Variante 3 u. e) Variante 4 um 22 Uhr

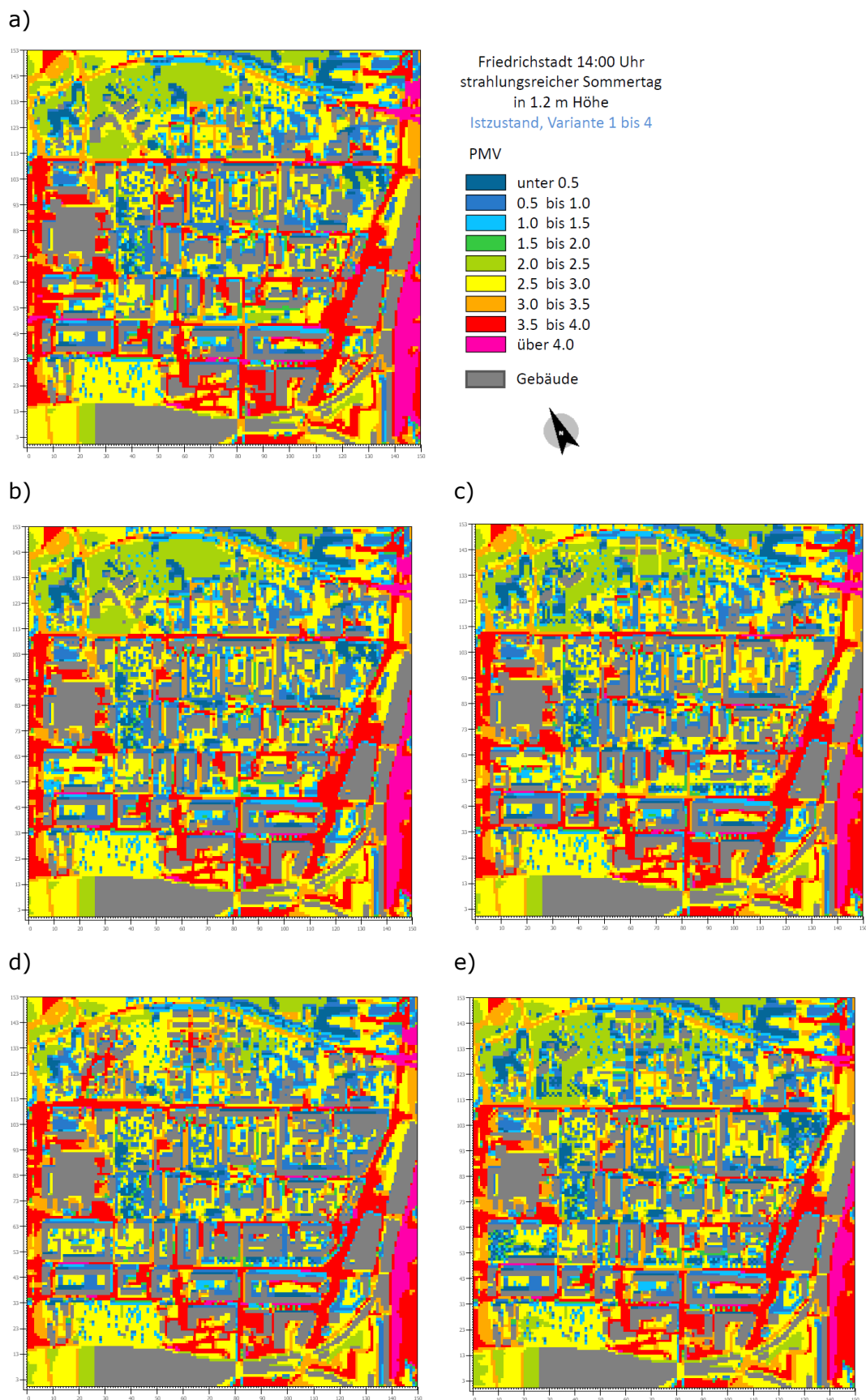


Abbildung A.5: PMV-Verteilung in der Friedrichstadt a) Istzustand, b) Variante 1, c) Variante 2, d) Variante 3 u. e) Variante 4 um 14 Uhr

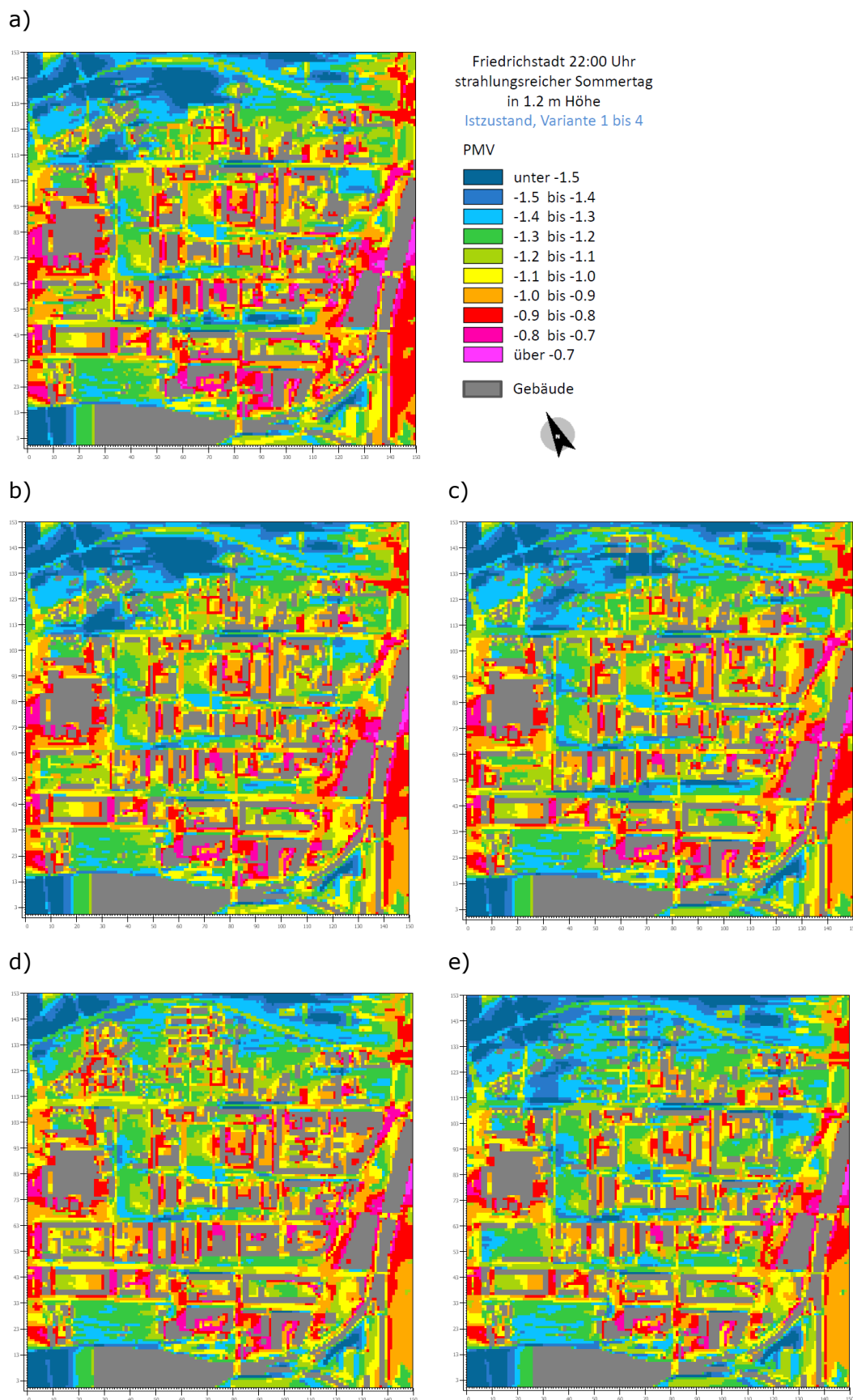


Abbildung A.6: PMV-Verteilung in der Friedrichstadt a) Istzustand, b) Variante 1, c) Variante 2, d) Variante 3 u. e) Variante 4 um 22 Uhr